



João Marcos Magro Velez

Licenciatura em Bioquímica



Estudo biostratigráfico de diatomáceas dos últimos 16 Ma no Mar do Japão

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Paleontologia

Orientador: Cristina Lopes, Investigadora, IPMA
Co-orientador: Paulo Legoinha, Professor Auxiliar, FCT

Presidente: Fernando Henriques da Silva Reboredo
Arguente: Lúcia Nunes de Sousa Pereira de Castro
Vogal: Cristina Isabel Coelho Dias Lopes



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Novembro 2019

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Ao longo do meu percurso académico foram muitas as pessoas que me acompanharam, tendo de alguma forma colaborado para eu alcançar este objetivo.

Gostava de agradecer ao Instituto Português do Mar e da Atmosfera pelas instalações e laboratórios concedidos e à Fundação para a Ciência e a Tecnologia pelo financiamento no âmbito do projecto "Interacção de variações climáticas entre o Norte Pacífico e o Norte Atlântico: procura de ligações oceânicas e atmosféricas - Interclimlinks" (PTDC/MAR-PRO/3903/2014)

À minha orientadora Dra. Cristina Lopes e ao meu co-orientador Dr. Paulo Legoinha pela oportunidade que me deram de realizar este trabalho desafiante, e por toda a dedicação, motivação, disponibilidade, conselhos e conhecimento que me forneceram ao longo deste percurso.

À Dra. Fátima Abrantes, pela disponibilidade e pela alegria que teve em esclarecer-me sobre dúvidas relacionadas com a parte experimental ou alguma espécie de diatomácea em específico.

À Dra. Antje Voelker, que teve a paciência e disponibilidade de me explicar de forma não só detalhada, mas também clara, vários processos de perfuração e de extração de sedimentos, bem como o esclarecimento de dúvidas relacionadas com a construção do modelo de idades.

À Cristina Ventura, que teve não só a paciência, consideração e atenção para retirar todas as minhas dúvidas constantes sobre identificações de diatomáceas ou qualquer outro aspeto, por mais simples que fosse, que eu precisasse, mas também pela ajuda imensa que me forneceu durante todo o processo experimental.

À Dra. Montserrat Alonso Garcia pela disponibilidade com que me elucidou ao nível da biostratigrafia.

À Dra. Zuzanna Stroynowski pela ajuda que me forneceu ao longo do meu percurso no IPMA, especialmente na parte inicial sobre bioestratigrafia em diatomáceas.

Ao Dr. Vítor Magalhães que me ajudou a obter software gráfico de qualidade para a realização do modelo de idades.

À Dra. Dulce Oliveira, que me ajudou bastante em questões de formatação de trabalhos e apresentações em biostratigrafia.

À Dra. Lélia Matos que também estava se mostrou disponível para me ajudar com questões de terminologia geológica ou paleontológica

À Dra. Andreia Rebotim, pela disponibilidade, atenção e ajuda que me forneceu na tradução de imagens para a minha dissertação.

À Isabel Loureiro que me ajudou a tirar dúvidas sobre a estrutura da dissertação.

À Aline Mega, Mafalda Freitas e Ana Lopes que sempre me apoiaram durante a minha estadia na sala das lupas e também se mostraram disponíveis para me ajudar sempre que tinha dúvidas.

Ao Warley Soares e à Cremilde Monteiro por me ajudarem na parte laboratorial e pela amizade e companhia que me forneceram.

Aos estudantes que conheci no IPMA e cuja amizade se mostrou muito importante durante este percurso no IPMA, em especial ao Emílio Herrera, Ana Campos, Silvia Roccagliatta, Polyxeni Tapazidou, Joana Matos, Joana Freitas e Carlos Tordecillas.

Aos meus amigos de Lisboa, em especial ao Rúben Marques, Fernando Brazuna, João Dias e Mafalda Chambel que estiveram lá não só nos momentos de ânimo para comemorar mas também de forma indispensável nos momentos de desânimo para me apoiar.

À minha mãe, irmãos e avós e pelo apoio emocional.

Abstract

Building an Age model is of great socio-economic and scientific importance. However, the created age models are rarely subjected to a previous statistical validation analysis and specific laboratory sample processing.

In this study 13 species and 5 varieties of diatoms are described and used as biostratigraphic markers of the Sea of Japan. This is followed by an observation, identification and quantitative analysis of each sample from the site U1430, after the application of a proper laboratory treatment. The data recovered from these operations is then subjected to a statistical approach, each bioevent related to a described species is marked and used to create a statistically validated age model. It is discussed the importance of the application of each method used and the resulting model is compared with the one already created in the report for the IODP 346 expedition.

Keywords: Age model, Biostratigraphy, Diatoms, Sea of Japan, Site U1430, Statistically correct data

Resumo

A construção de um modelo de idades é de grande importância a nível económico, social e científico. O processo que leva à sua elaboração, no entanto, raramente envolve uma etapa de análise estatística quantitativa.

Neste estudo são descritas 13 espécies e 5 variedades de diatomáceas como marcadores biostratigráficos do Mar do Japão do site U1430. Após a identificação e contagem das espécies em cada amostra e dos bioeventos a elas associados, envolvendo uma análise quantitativa associada, bem como tratamento laboratorial específico, foi construído um novo modelo de idades. Para validar o modelo de idades resultante e aumentar a precisão e confiabilidade do estudo biostratigráfico efetuado, foi necessário realizar um tratamento estatístico de dados. O modelo construído é comparado com o modelo já existente no relatório da expedição 346 da IODP.

Palavras-chave: Biostratigrafia, Dados estatisticamente representativos, Diatomáceas, Mar do Japão, Modelo de idades, Site U1430

Índice de conteúdos

Agradecimentos	v
Abstract	viii
Resumo	x
Índice de figuras	xv
Índice de tabelas	xx
Índice de abreviaturas	xxii
1-Introdução	1
2-Bioestratigrafia.....	3
3- Magnetoestratigrafia	5
4- Paleoceanografia e Paleoclimatologia	6
5- Diatomáceas.....	7
6-Enquadramento da área em estudo.....	10
6.1-Mar do Japão	10
6.2-Sistema de correntes oceânicas do Mar do Japão	10
6.3-Site U1430	13
6.3.1-Litologia	14
6.3.2-Magnetostratigrafia	16
6.3.3-Biostratigrafia	16
6.3.4-Paleoceanografia e Paleoclimatologia	18
6.4-Diatomáceas do Mar do Japão.....	19
6.4.1- <i>Shionodiscus oestrupii</i> (Ostenfeld, 1900)	19
6.4.2- <i>Proboscia curvirostris</i> ((Jousé) Jordan e Priddle, 1991)	20
6.4.3- <i>Actinocyclus oculatus</i> (Jousé, 1968)	21
6.4.4- <i>Neodenticula koizumii</i> (Akiba e Yanagisawa, 1998).....	22
6.4.5- <i>Neodenticula kamtschatica</i> (Zabelina, 1934)	23
6.4.6- <i>Rouxia californica</i> (Tempère J. e Peragallo, 1910).....	24
6.4.7- <i>Thalassionema schraderii</i> (Akiba, 1982).....	25
6.4.8- <i>Denticulopsis katayamae</i> (Maruyama,1984).....	26
6.4.9- <i>Denticulopsis dimorpha</i> var. <i>dimorpha</i> (Yanagisawa e Akiba, 1990)	27
6.4.10- <i>Denticulopsis dimorpha</i> var. <i>areolata</i> (Yanagisawa e Akiba, 1990).....	27
6.4.11- <i>Denticulopsis simonsenii</i> (Yanagisawa e Akiba, 1990)	29
6.4.12- <i>Denticulopsis hustedtii</i> (R.Simonsen ex T.Kanaya 1961)	30
6.4.13- <i>Denticulopsis praedimorpha</i> var. <i>minor</i> (Yanagisawa e Akiba, 1990)	31
6.4.14- <i>Denticulopsis praedimorpha</i> var. <i>praedimorpha</i> (Yanagisawa e Akiba, 1990).....	32

6.4.15- <i>Denticulopsis praedimorpha</i> var. <i>robusta</i> (Yanagisawa e Akiba, 1990).....	33
6.4.16- <i>Denticulopsis hyalina</i> (Schrader, 1973)	34
7- Métodos.....	35
7.1 -Colheita de sondagens.....	35
7.2 -Processamento laboratorial.....	36
7.2.1 – Colheita da amostra	36
7.2.2- Dissociação do sedimento e remoção de impurezas da amostra	36
7.2.3- Remoção de partículas em suspensão.....	38
7.2.4- Secagem e preparação das lamelas.....	38
7.2.5-Preparação das lâminas.....	39
7.2.6-Armazenamento das amostras.....	40
7.3 -Observação ao microscópio.....	41
7.4 -Métodos de quantificação.....	42
8-Resultados e discussão	45
9-Conclusões	59
10-Referências bibliográficas	60
11-Anexos.....	68
11.1-Material, substâncias químicas e aparelhos utilizados	68
11.2-Fotografias da visualização microscópica das amostras	69
11.3-Fotografias das espécies chave de diatomáceas observadas.....	75

Índice de figuras

Figura 5.1 – Visão esquemática do corte transversal de uma frústula. Traduzido de (Hasle <i>et al.</i> , 1996)	7
Figura 5.2 – Frústulas de <i>Diploneis bombus</i> (A) e de <i>Actinoptychus senarius</i> (B).....	8
Figura 6.1- Localização do Mar do Japão, mostrando a distribuição do tipo de crosta. Mapa baseado em informação de reflexão/refração sísmica, dados de sedimentos de cores, informação geomagnética e topográfica (adaptado de Yoon <i>et al.</i> , 2014)	10
Figura 6.2 – As duas correntes principais do Mar do Japão – a corrente fria de Liman (azul) e a corrente quente de Tsushima (púrpura) (adaptado de Zhang <i>et al.</i> , 2015).....	12
Figura 6.3- Mapa batimétrico do Mar do Japão, com os sites da Expedição 346 da IODP (círculos vermelhos) bem como sites explorados nos projetos DSDP/ODP (círculos brancos). Evidenciado a amarelo o site U1430. A escala a cores representa a batimetria. Sistemas de correntes quentes marcados a vermelho (adaptado de Tada <i>et al.</i> , 2015b)	13
Figura 6.4 – Sumário da litologia do site U1430 (adaptado de Tada <i>et al.</i> , 2015b).....	15
Figura 6.5 – Biozonação do site U1430 obtida através da análise dos microfósseis em cada amostra a bordo do navio da expedição 346 da IODP (adaptado de Tada <i>et al.</i> , 2015).....	17
Figura 6.6 – Valvas de <i>Shionodiscus oestrupii</i> observadas ao microscópio ótico. [R] – Rimopórtula; [F] – Fultopórtula. A escala representa 2 µm (adaptado de Fryxell e Hasle, 1980).	19
Figura 6.7- Valva de <i>Proboscia curvirostris</i> ao microscópio ótico. A seta a preto realça a espinha dorsal característica da espécie. A escala representa 10 µm (adaptado de Akiba <i>et al.</i> , 2009)	20
Figura 6.8 – Valvas de <i>Actinocyclus oculatus</i> vistas ao microscópio ótico. A escala representa 10 µm (adaptado de Winter <i>et al.</i> , 2004).....	21
Figura 6.9 – Valvas de <i>Neodenticula koizumii</i> . A escala representa 10 µm (adaptado de Yanagizawa e Akiba, 1990).	22
Figura 6.10 – Valvas de <i>Neodenticula kamtschatica</i> tiradas ao microscópio ótico em vista pleural (1) e vista valvar (2 a 10). A escala representa 10 µm (adaptado de Yanagizawa e Akiba, 1990).	23
Figura 6.11– Valva de <i>Rouxia californica</i> observada ao microscópio ótico. A escala na figura representa 10 µm (adaptado de Winter e Iwai, 2002).	24
Figura 6.12 – Valvas de <i>Thalassionema schraedrii</i> tiradas ao microscópio ótico. A escala na figura representa 10 µm (adaptado de Akiba, 1982).	25
Figura 6.13 – Valvas em vista valvar de <i>Denticulopsis katayamae</i> tiradas ao microscópio ótico. A escala na figura representa 10 µm (adaptado de Yanagizawa e Akiba, 1990).	26
Figura 6.14 – Valvas de <i>Denticulopsis dimorpha</i> var. <i>dimorpha</i> em vista pleural (1 e 2) e vista valvar (3 a 5) tiradas ao microscópio ótico. A escala na figura representa 10 µm (adaptado de Yanagizawa e Akiba, 1990).	27
Figura 6.15 – Valvas de <i>Denticulopsis dimorpha</i> var. <i>areolata</i> tirada ao microscópio ótico em vista pleural (1 a 4) e em vista valvar (5 a 7). A escala na figura representa 10 µm (adaptado de Yanagizawa e Akiba, 1990).	28

Figura 6.16 – Valvas de <i>Denticulopsis simonsenii</i> tiradas ao microscópio ótico. A escala na figura representa 10 µm (adaptado de Yanagisawa e Akiba, 1990).....	29
Figura 6.17 – Valvas de <i>Denticulopsis hustedtii</i> tiradas ao microscópio ótico. A escala na figura representa 10 µm (adaptado de Yanagisawa e Akiba, 1990).	30
Figura 6.18– Valvas de <i>Denticulopsis praedimorpha</i> var. <i>Minor</i> em vista pleural (1 a 4) e vista valvar (5 a 7) tiradas ao microscópio ótico. A escala na figura representa 10 µm (adaptado de Yanagisawa e Akiba, 1990)	31
Figura 6.19 – Valvas de <i>Denticulopsis praedimorpha</i> var. <i>praedimorpha</i> tiradas ao microscópio ótico. (1 e 4) - Vista valvar; (2 e 3) - Vista pleural. A escala na figura representa 10 µm (adaptado de Yanagisawa e Akiba, 1990).	32
Figura 6.20 – Valvas de <i>Denticulopsis praedimorpha</i> var. <i>robusta</i> . tiradas ao microscópio ótico (1-4) - Vista valvar; (5 e 6) Vista pleural; 7 – Cópula. A escala na figura representa 10 µm (adaptado de Yanagisawa e Akiba, 1990).....	33
Figura 6.21 – Valvas de <i>Denticulopsis hyalina</i> tiradas ao microscópio ótico. A escala na figura representa 10 µm (adaptado de Yanagisawa e Akiba, 1990)	34
Figura 7.1 – Diagrama do seccionamento e rotulação das diferentes partes do core (Mayer <i>et al.</i> , 1992).	35
Figura 7.2 – Amostras de core catchers (A) e material para a sua colheita – da esquerda para a direita, uma pinça e três espátulas, bem como copos de amostras previamente identificados acima do material (B).....	36
Figura 7.3 – Adição de ácido clorídrico às amostras (A) e aquecimento das mesmas na placa de aquecimento (B)	37
Figura 7.4 – Copos utilizados para a remoção das partículas em suspensão. Remoção de solução até à marca dos 125 ml para remover partículas em suspensão (A) e solução após adição de água até aos 200 ml (B)	38
Figura 7.5 – Pratos de Batterbee (Batterbee, 1973) identificados com a amostra correspondente. As lamelas estão colocadas dentro dos quatro orifícios de cada prato (seta branca). Placas antes da secagem (A) e placas após a secagem, mostrando as diatomáceas acumuladas no fundo da placa (B).	39
Figura 7.6 – Identificação das lâminas utilizando uma caneta de gravação (A) e conjunto de lâminas de amostras prontas a serem observadas (B).	40
Figura 7.7 – Esquema da lamela com representação dos transectos e campos de visão por cada transecto.	41
Figura 7.8 - Este gráfico permite calcular a percentagem significativa de uma espécie (p) para uma amostra de tamanho (n) sendo f(0) a percentagem de não encontrar a espécie na amostra. O grau de confiança é dado por 1-f(0) (Fatela e Taborda, 2002).	43
Figura 8.1- Escala de tempo utilizada na expedição da IODP 346 com os respetivos bioeventos de diatomáceas e biozonas até aos 15 Ma. LCO = Última ocorrência comum, FCO = Primeira ocorrência comum, LO = Última ocorrência, FO = Primeira ocorrência (adaptado de Tada <i>et al.</i> , 2015b)..	49
Figura 8.2- Gráfico de idade/profundidade com os bioeventos obtidos (quadrados pretos) e bioeventos obtidos se não forem consideradas as percentagens significativas mínimas para cada espécie (quadrados vermelhos). Barras de erro verticais representam erro de profundidade, e barras de erro horizontais representam erro de idades.	52

Figura 8.3 – Gráfico de idade/profundidade comparando os bioeventos de diatomáceas obtidos após análise laboratorial e estatística das amostras (quadrados pretos) e os bioeventos de diatomáceas obtidos no navio (quadrados amarelos). Barras de erro verticais representam erro de profundidade, e barras de erro horizontais representam erro de idades. Informação sobre bioeventos atribuídos a bordo adaptada do relatório do site U1430A, expedição 346 (Tada <i>et al.</i> , 2015b).	53
Figura 8.4- Modelo de idades (linha vermelha) e bioeventos obtidos a bordo do navio na expedição 346 ao site U1430. O hiato conjecturado está marcado como uma linha preta a tracejado. Os bioeventos representados pertencem a nanofósseis calcários (verde), radiolários (Azul escuro) e diatomáceas (amarelo).O limite de Brunhes/Matuyama (cruz vermelha) foi o único evento paleomagnético obtido a bordo. Barras de erro verticais representam erro de profundidade, e barras de erro horizontais representam erro de idades (adaptado de Tada <i>et al.</i> , 2015b).	55
Figura 8.5 – Comparação entre o modelo de idades contruído a bordo (linha vermelha; ver figura 5.4) com o modelo de idades (linha azul) construído a partir dos bioeventos (quadrados pretos) obtidos após análise laboratorial e estatística neste trabalho. O evento paleomagnético de Brunhes/Matuyama (cruz vermelha) está representado e é comum aos dois modelos. Barras de erro verticais representam erro de profundidade, e barras de erro horizontais representam erro de idades. Informação do modelo de idades da expedição adaptado do relatório do site U1430A (Tada <i>et al.</i> , 2015b)	56
Figura 8.6 – Comparação entre percentagens relativas de esporos de <i>Chaetoceros</i> das amostras analisadas, com a idade das amostras atribuída utilizando o modelo de idades contruído a bordo (linha vermelha) e o modelo de idades construído a partir dos bioeventos (linha azul). A amarelo está evidenciado o evento de diminuição de produtividade observado no Mar do Japão devido à diminuição da profundidade do estreito de Tsugaru.	58
Figura 11.1 – Fotografias das amostras 1H-CC a 6H-CC do core U1430A com ampliação 1000x. Barra azul equivale a 9 μ m. (1)-Amostra 1H-CC; (2) Amostra 2H-CC; (3) Amostra 3H-CC; (4) Amostra 4H-CC; (5) Amostra 5H-CC; (6) Amostra 6H-CC.	69
Figura 11.2 – Fotografias das amostras 7H-CC a 12H-CC do core U1430A com ampliação 1000x. Barra azul equivale a 9 μ m. (1)-Amostra 7H-CC; (2) Amostra 8H-CC; (3) Amostra 9H-CC; (4) Amostra 10H-CC; (5) Amostra 11H-CC; (6) Amostra 12H-CC.	70
Figura 11.3 – Fotografias das amostras 13H-CC a 18H-CC do core U1430A com ampliação 1000x. Barra azul equivale a 9 μ m. (1)-Amostra 13H-CC; (2) Amostra 14H-CC; (3) Amostra 15H-CC; (4) Amostra 16H-CC; (5) Amostra 17H-CC; (6) Amostra 18H-CC.	71
Figura 11.4 – Fotografias das amostras 19H-CC a 24H-CC do core U1430A com ampliação 1000x. Barra azul equivale a 9 μ m. (1)-Amostra 19H-CC; (2) Amostra 20H-CC; (3) Amostra 21H-CC; (4) Amostra 22H-CC; (5) Amostra 23H-CC; (6) Amostra 24H-CC.	72
Figura 11.5 – Fotografias das amostras 25H-CC a 30X-CC do core U1430A com ampliação 1000x. Barra azul equivale a 9 μ m. (1)-Amostra 25H-CC; (2) Amostra 26H-CC; (3) Amostra 27H-CC; (4) Amostra 28H-CC; (5) Amostra 29H-CC; (6) Amostra 30X-CC.	73
Figura 11.6 – Fotografias das amostras 31X-CC e 32X-CC do core U1430A com ampliação 1000x. Barra azul equivale a 9 μ m. (1)-Amostra 31X-CC; (2) Amostra 32X-CC..	74
Figura 11.7 – Valvas de <i>Shionodiscus oestrupii</i> observadas ao microscópio ótico. [R] – Rimopórtula; [F] – Fultopórtula.	75
Figura 11.8- Valva de <i>Proboscia curvirostris</i> ao microscópio ótico. A seta azul realça a espinha dorsal característica da espécie.	75

Figura 11.9 – Valvas de <i>Neodenticula koizumii</i> em vista valvar.	76
Figura 11.10 – Valvas de <i>Neodenticula kamtschatica</i> observadas ao microscópio ótico, em vista valvar.	76
Figura 11.11 – Valva de <i>Rouxia californica</i> em vista valvar, observada ao microscópio ótico.	77
Figura 11.12 – Valva de <i>Thalassionema schraedrii</i> em vista valvar, observada ao microscópio ótico.	77
Figura 11.13 – Valvas em vista valvar (A) e vista pleural (B) de <i>Denticulopsis katayamae</i> observadas ao microscópio ótico.	78
Figura 11.14 – Valvas de <i>Denticulopsis dimorpha</i> var. <i>dimorpha</i> em vista valvar, observadas ao microscópio ótico.	78
Figura 11.15 – Valva de <i>Denticulopsis dimorpha</i> var. <i>areolata</i> em vista valvar, observada ao microscópio ótico.	79
Figura 11.16 – Valvas de <i>Denticulopsis simonsenii</i> em vista valvar observadas ao microscópio ótico.	79
Figura 11.17 – Valvas de <i>Denticulopsis hustedtii</i> em vista valvar observadas ao microscópio ótico.	80
Figura 11.18– Valvas de <i>Denticulopsis praedimorpha</i> var. <i>Minor</i> em vista valvar observadas ao microscópio ótico.	80

Índice de tabelas

Tabela 2.1 - Escala de tempo geológica a partir da era Mesozóica. Baseado na tabela cronoestratigráfica da Comissão Internacional em Estratigrafia atualizada em Maio de 2019.....	4
Tabela 7.1 -Percentagens das espécies chave ao longo das amostras analisadas. São assinaladas a vermelho as percentagens abaixo e a verde as percentagens acima da percentagem significativa para cada amostra	44
Tabela 8.1.- Preservação e abundância geral de diatomáceas em cada amostra observada. Preservação: Boa , se mais de 75% das diatomáceas sem sinais de dissolução ou fragmentação elevada; Média, se 40-75% das diatomáceas nestas condições; Baixa, se 0-40% das diatomáceas nestas condições. Para a abundância temos: abundante, se existem mais de 100 valvas por transecto; comum, com 75-100 valvas por transecto; incomum, com 30-75 valvas por transecto; Rara, onde existem 1-30 valvas por transecto; Sem diatomáceas, se existem 0 valvas por transecto. Imagens de cada amostra no anexo (figuras 11.1-11.6).....	46
Tabela 8.2- Espécies chave, a sua presença nas amostras e a sua presença representativa da associação em pelo menos uma amostra.	47
Tabela 8.3- Bioeventos de diatomáceas chave obtidos após o tratamento e observação de amostras CC do site U1430, furo A (UO – última ocorrência; UOC- última ocorrência comum, PO-primeira ocorrência, POC-primeira ocorrência comum).	48
Quadro 8.4- Idade (Ma) e profundidade (m) dos pontos atribuídos ao modelo de idades construído neste trabalho.....	57
Quadro 8.5- Equações lineares de cada parte do modelo de idades; (y) representa a profundidade e (x) a idade correspondente.....	57
Quadro 8.6- Taxas de sedimentação do modelo de idades proposto.....	58
Quadro 11.1 - Lista de material, substâncias químicas e aparelhos utilizados ordenados por fase laboratorial	68

Índice de abreviaturas

APC - *Advanced piston corer*

CC – *Core catcher*; últimos 20 cm do núcleo de perfuração de 9 m

CCD - Profundidade de compensação de carbonatos

CSF - *Core depth below Sea Floor*

DSDP - *Deep Sea Drilling Project*

IODP - *Integrated Ocean Drilling Program*

JOIDES - *Joint Oceanographic Institutions for Deep Earth Sampling*

Ma - Milhões de anos

ODP - *Ocean Drilling Program*

PO - Primeira ocorrência

POC - Primeira ocorrência comum

UV - Ultravioleta

UIG - *Ulleung Interplain Gap*

UO - Última ocorrência

UOC - Última ocorrência comum

XCB - *Extended Core Barrel*

1-Introdução

O registo fóssil conserva vários eventos que podem ser utilizados para a construção de escalas temporais, ou efetuar correlações entre estratos de diferentes locais. Estão incluídos nestes eventos o aparecimento ou o desaparecimento de uma determinada espécie, ocorrências de associações faunais características bem como a sua mudança ou desaparecimento (Sadler, 2004). Algumas espécies de organismos microscópicos marinhos são influenciadas por uma variedade de parâmetros físico-químicos associados à água do mar - luz, temperatura, salinidade e nutrientes, demonstrando que a investigação da composição de associações de microfósseis marinhos pode ser uma ferramenta importante para efetuar reconstruções paleoclimáticas ou paleoceanográficas.

Devido ao seu tamanho e à sua abundância os microfósseis permitem efetuar análises quantitativas mais rigorosas com pequenas amostras de sedimento (Haq *et al.*, 1998). Este tipo de análise requer não só um tratamento específico de preparação em laboratório, dependendo do microfóssil em questão, mas também a definição do número de indivíduos a serem contados, para obtermos uma amostra representativa da associação em estudo (Fatela e Taborda, 2002), com aplicação posterior de uma análise estatística aos dados resultantes. É possível deste modo aumentar a precisão e confiabilidade do estudo, desmistificar eventos contraditórios colmatar alguma falta de informação na sucessão sedimentar ou até clarificar incertezas existentes na correspondência de um bioevento.

O processo de preparação das amostras, contagem e análise dos dados, pode no entanto ser moroso e de difícil conclusão, especialmente quando é efetuado em situações que envolvem restrições de tempo e custos elevados de gestão, sendo um bom exemplo disto as expedições oceanográficas. É exemplo disso a expedição 346 da IODP ao site U1430, onde a identificação e contagem das espécies e a identificação de bioeventos a bordo, condicionada por estes fatores económicos e temporais, foi realizada a partir de esfregaços de sedimento com pouca preparação laboratorial para a visualização de microfósseis siliciosos, ou sem a aplicação de um método estatístico no passo de contagem. Problemas existentes a nível de ruído e da obtenção de material do core tornaram possível a identificação de apenas um evento paleomagnético. Não obstante, o grau de preservação e de abundância das diatomáceas neste site permitiu a datação biostratigráfica e a consequente criação de um modelo de idades na expedição (Tada *et al.*, 2015b).

Utilizando as diatomáceas como microfóssil para a análise biostratigráfica do core A pertencente ao site U1430, esta dissertação tem por objetivos:

- Descrever e identificar as espécies de diatomáceas chave na biostratigrafia do Mar do Japão
- Efetuar uma preparação laboratorial de slides, a partir de amostras de CC deste core para a visualização e contagem das diatomáceas presentes em cada amostra.

- A partir do número de diatomáceas contado e após estabelecer um limite de confiança binomial, selecionar, de entre as espécies chave, aquelas cuja proporção representa estatisticamente a associação de cada amostra.
- Identificar os bioeventos significantes em cada amostra para a criação de biozonas, e deste modo construir um novo modelo de idades, comparando com o modelo de idades já existente, de modo a não só a aperfeiçoar o modelo criado previamente, mas também a estabelecer uma base estatisticamente correta para estudos subsequentes que utilizem modelos de idade.

2-Bioestratigrafia

Bioestratigrafia é definida como a classificação de unidades estratigráficas tendo por base o seu conteúdo fóssil, com o objetivo de definir intervalos cronológicos (Armstrong e Brasier, 2005). Para isto é necessária a identificação da distribuição lateral e vertical das espécies contidas na sucessão estratigráfica e a sua divisão em unidades definidas pelo seu conteúdo fóssil, com o nome de biozonas. Ao identificar o momento em que ocorreu a extinção ou aparição de uma espécie, é possível atribuir um intervalo de tempo entre esses dois acontecimentos. Ao intervalo de tempo entre dois eventos é dado o nome de crono, sendo que a cronozona corresponde ao conjunto de estratos ou sedimentos formados durante uma biozona. Ao evento do primeiro aparecimento de uma espécie é dado o nome de FAD ou *First Appearance Datum* e à última ocorrência de uma espécie no registo fóssil e consequentemente à sua extinção é dado o nome de LAD ou *Last Appearance Datum*. No entanto, é conhecido que o registo fóssil pode não ser completo (Koutsoukos, 2006) dado que apenas uma fração dos organismos particulares tem condições para fossilizar, e que os sedimentos nem sempre registam de uma forma contínua eventos de especiação, devido a fenómenos como ausências de deposição, eventos erosionais ou alterações ambientais que favoreçam um táxon específico. Consequentemente, são utilizados os termos Primeira Ocorrência (PO) ou Última Ocorrência (UO) de uma espécie de modo a efetuar uma aproximação ao FAD e ao LAD respetivamente para uma sequência estratigráfica específica. Quando o FAD ou LAD não fazem parte de uma amplitude estratigráfica contínua e são difíceis de distinguir ou de reconhecer em situações onde o número de espécimes é baixo, pode ser vantajoso utilizar a Primeira Ocorrência Comum (POC) ou Última Ocorrência Comum (UOC) respetivamente.

Para efetuar esta aproximação local aos eventos reais de especiação ou extinção podem ser utilizados vários métodos, entre eles técnicas de correlação de gráficos (Tsunakawa e Shaw, 1994 ; Edwards, 1984) e padrões de abundância de espécies (Keller, 1983). Isto permite-nos ter uma ideia das falhas e lacunas do registo fóssil e mostrar se uma determinada sucessão estratigráfica foi, ou não, afetada por fenómenos naturais ou artificiais. Relacionar os diferentes eventos de especiação ou extinção com a profundidade da sucessão possibilita a construção de um modelo de idades que permite não só calcular a idade contínua da sucessão mas também obter informação relevante para a reconstrução do ambiente local ao longo do tempo.

A maior parte dos microfósseis são aptos para bioestratigrafia quantitativa, devido à sua ocorrência em números elevados e as diatomáceas não são exceção. A sua presença no registo fóssil permite a reconstrução de períodos temporais desde há 127 Ma, no Cretácico inferior (tabela 2.1) (Dun *et al.*, 1901). As diatomáceas oferecem várias vantagens em comparação com outros microfósseis, especialmente como marcadores bioestratigráficos de estudos de sedimentos marinhos do Cenozóico, em virtude da sua abundância, preservação e diversidade em altas latitudes onde

microfósseis calcários são escassos (Bolli *et al.*, 1985), devido ao aumento da solubilidade de carbonatos em águas frias, bem como o efeito da profundidade de compensação de carbonatos (Armstrong e Brasier, 2005).

Tabela 2.1 – Escala de tempo geológica a partir da era Mesozóica. Baseado na tabela cronoestratigráfica da Comissão Internacional de Estratigrafia atualizada em Maio de 2019.

Era	Período	Época	Início (Ma)	Fim (Ma)
Cenozóico	Quaternário	Holocénico	0,0117	Atualidade
		Pleistocénico	2,58	0,0117
	Neogénico	Pliocénico	5,333	2,58
		Miocénico	23,03	5,333
	Paleogénico	Oligocénico	33,9	23,03
		Eocénico	56	33,9
		Paleocénico	66	56
Mesozóico	Cretácico	Superior	100,5	66
		Inferior	145	100,5
	Jurássico	Superior	163.5 ±1.0	145
		Médio	174.1 ±1.0	163.5 ±1.0
		Inferior	201.3 ±0.2	174.1 ±1.0
	Triássico	Superior	237	201.3 ±0.2
		Médio	247,2	237
		Inferior	251.902 ±0.024	247,2

3-Magnetoestratigrafia

A magnetoestratigrafia corresponde a uma técnica de correlação geofísica utilizada na datação de sequências sedimentares e vulcânicas. A polaridade do campo magnético terrestre fica gravada na rocha no momento da sua deposição. Este campo magnético sofre alterações ao longo do tempo - quando se dá uma inversão do campo magnético terrestre, essa inversão ocorre simultaneamente em todo o planeta e estas alterações ficam registradas na rocha, sendo que rochas de diferentes idades têm polaridades diferentes (Langereis *et al.*, 2010). Isto torna a magnetoestratigrafia num método fiável para efetuar correlações, especialmente quando acoplado a outros métodos de datação, como a bioestratigrafia.

4-Paleoceanografia e Paleoclimatologia

A paleoceanografia é o estudo da história do passado geológico dos oceanos relativamente à sua circulação, química, biologia, geologia e climatologia (Meissner, Montenegro e Avis, 2009). Este estudo está diretamente relacionado com a paleoclimatologia - o estudo das mudanças climáticas referentes ao passado geológico do nosso planeta. De modo a ter uma perspetiva das variações climáticas e oceanográficas é necessário estudar fenómenos naturais que são dependentes destas variações, e que incorporam na sua estrutura uma maneira de medir o grau de dependência. Estes fenómenos potenciam uma aproximação do registo climático, e é o estudo da informação contida nestas aproximações que é a fundação da paleoclimatologia (Elias e Bradley, 1999). A compreensão dos fatores que controlam a presença ou não de espécies relevantes para a reconstrução dos ambientes onde viveram também deve ser considerada num estudo paleoceanográfico ou paleoclimatológico. É relevante ponderar que abordagem estatística vai transmitir a informação quantitativa de um modo mais imparcial para esta reconstrução (Lopes *et al.*, 2010, 2015 e Lopes e Mix, 2018).

Como referido anteriormente, alguns microfósseis possuem tolerâncias ambientais específicas, suportando níveis particulares de salinidade, temperatura, acidez ou de concentração de nutrientes. Se for documentada a distribuição dos microfósseis na atualidade, e compreendida a combinação destas variáveis oceânicas e climáticas que controlam as distribuições, é possível utilizar esta informação para reconstruir paleoambientes utilizando espécies extintas (semelhantes taxonomicamente às atuais) como indicadores paleoclimáticos ou paleoceanicos (Zielinski e Gersonde, 1997).

Estudos biostratigráficos recentes sobre diatomáceas do Quaternário superior do mar de Okhotsk (Okazaki *et al.*, 2005) propiciaram uma elucidação detalhada sobre mudanças no nível de gelo marinho e nos níveis de produtividade biológica.

5-Diatomáceas

As diatomáceas são um grupo de algas unicelulares com paredes silicificadas que podem viver numa grande diversidade de ambientes aquáticos e semi-aquáticos, (Willen, 1991). Possuem um papel ecológico de grande importância, pois são responsáveis pela fixação de 20% de todo o carbono existente a nível global (Mock e Medlin, 2012) bem como a causa de pelo menos 40% de toda a produtividade primária em ecossistemas marinhos (Mann, 1999). Têm também um papel chave no ciclo biogeoquímico de sílica (Treguer *et al.*, 1995), de ferro (Allen *et al.*, 2008) e de azoto (Hutchins e Brule, 1998) do oceano. Possuem uma parede celular característica altamente silicificada – a frústula, que é composta por duas valvas (figura 5.1).

Cerca de 10% a 30% da superfície valvar de cada diatomácea é coberta por pequenos poros formando um pontilhado, cuja disposição é significativa para a classificação de cada espécie.

Os poros que fazem a ligação entre o citoplasma e o ambiente externo podem ser furos simples ou estarem fechados por pequenas placas de sílica com poros muito reduzidos. A ordenação de poros em linha, pode dar origem às estrias, que por sua vez podem estar separadas por cristas não porosas – as costelas (Armstrong e Brasier, 2005).

Existe ainda outro tipo de estrutura comum nas frústulas - os Processos (ou Pórtulas), tubos que atravessam completamente a face valvar ou o manto, podendo ser processos labiados , as rimopórtulas, ou processos estruturados, as fultopórtulas (Vieira, 2011).

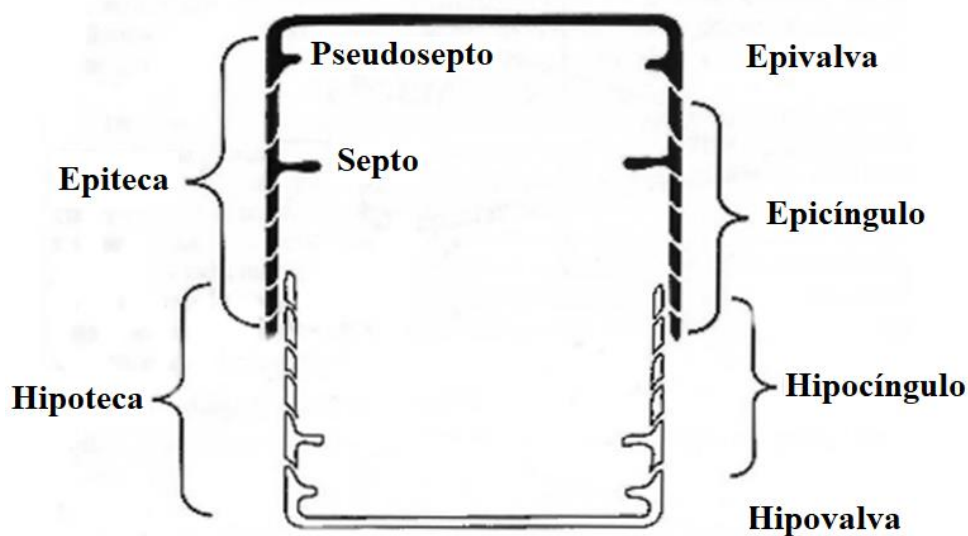


Figura 5.1 – Visão esquemática do corte transversal de uma frústula (Hasle *et al.*, 1996).

A frústula oferece rigidez à diatomácea e é específica para cada espécie – existem ornamentações, poros ou processos diferentes na frústula de uma espécie de diatomácea para outra (figura 5.2)

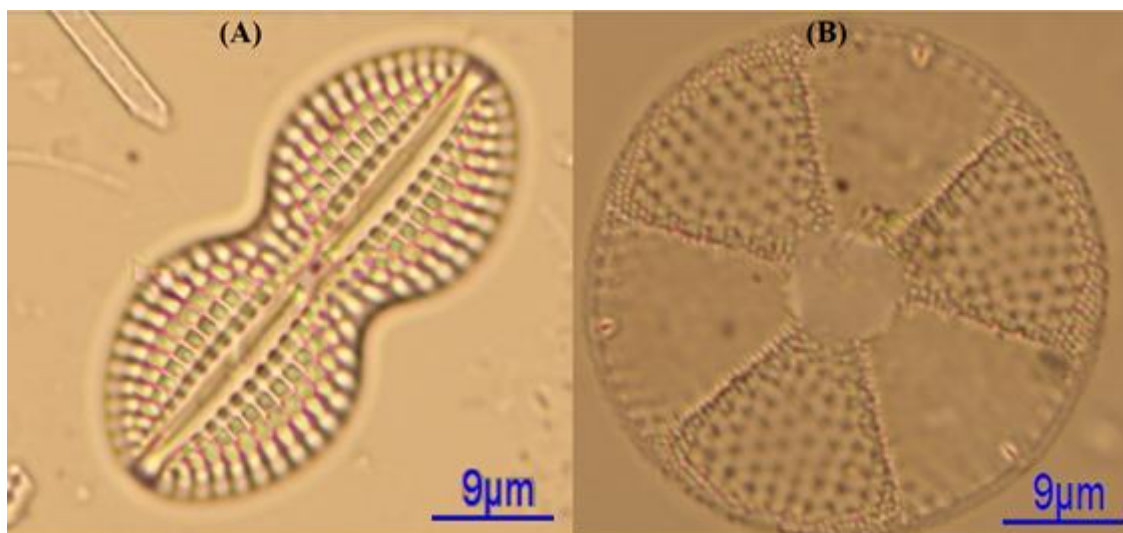


Figura 5.2 – Frústulas de *Diploneis bombus* (A) e de *Actinoptychus senarius* (B).

Por este motivo, as frústulas são utilizadas em identificações taxonómicas. As diatomáceas, como outros microorganismos têm a capacidade de entrar numa fase de dormência no seu ciclo de vida, quando expostas a condições desfavoráveis. Em algumas espécies planctónicas de água doce esta fase traduz-se simplesmente num maior teor em sílica das paredes celulares (ex: *Coscinodiscus furcatus*; Syvertsen, 1985). No entanto, na maior parte dos casos, estas condições adversas levam à formação de células morfologicamente distintas – os esporos (ex: género *Chaetoceros*)(Hargraves, 1986) . A formação destes esporos surge frequentemente em espécies costeiras e em regiões de afloramento (Margalef, 1978 ; Abrantes e Sancetta, 1985). Esporos do género *Chaetoceros* são extremamente abundantes no plâncton, talvez o género de fitoplâncton mais abundante nas águas do pacífico norte (Jousé, 1962), seguindo a distribuição máxima de produtividade quando dominam a associação (Sancetta, 1979) e são, por este motivo, utilizados como indicadores de produtividade primária.

Tendo por base a sua simetria, as diatomáceas dividem-se em dois grupos - as diatomáceas cêntricas ou *Biddulphiales* (Krieger, 1954) com simetria radial e diatomáceas pinuladas ou *Bacillariales* (Hendey, 1937) com simetria bilateral.

Cronologicamente, as diatomáceas cêntricas foram as primeiras a aparecer, com os primeiros espécimes no registo fóssil a datar do Jurássico inferior. As pinuladas apareceram mais tarde, no Cretácico (Gersonde e Harwood, 1990). Estimativas recentes baseadas em divergências moleculares de ADN apontam como o período de aparecimento das diatomáceas o Triássico, há cerca de 250 Ma (Armbrust, 2009).

As diatomáceas são conhecidas pelo homem desde o século XVII, no entanto foi apenas com o desenvolvimento do microscópio ótico no século XIX que começaram a ser estudadas taxonomicamente, com ilustrações e as primeiras descrições taxonómicas por Greville (1866) , Cleve e Möller (1875), Schmidt e Frick (1959) e Hustedt (1959).

Os primeiros estudos geológicos começaram todavia no século XX, com os trabalhos de Hanna (1927) e Lohman (1948) em que documentam associações de diatomáceas de água salobra do Cretácico ao Pliocénico, e Reinhold (Reinhold, 1937) com estudos de diatomáceas do Miocénico ao Pliocénico, em Java.

Estudos biostratigráficos em associações de diatomáceas foram impulsionados por Kanaya, que descreveu e correlacionou diferentes associações do Miocénico médio, através de distribuições de frequência das diferentes espécies de diatomáceas presentes em cada associação (Kanaya, 1959). O número de estudos aumentou rapidamente em 1960 com trabalhos biostratigráficos em secções costeiras (Scheschukova-Poretzkaja, 1962; Koizumi, 1968; Hajós, 1968) bem como em secções de cores (Jousé, 1962; Kozlova e Mukhina, 1967).

O desenvolvimento da biostratigrafia em cores de origem oceânica deu-se com o início do projeto *Deep Sea Drilling Project* (DSDP) em 1966, sendo providenciadas quantidades elevadas de material provenientes de secções de cores para o desenvolvimento da biostratigrafia em diatomáceas e outros microfósseis. Seguiram-se estudos de Burckle (1972), com correlações biostratigráficas de diatomáceas do Cenozóico no pacífico equatorial, e Koizumi (1973), com correlações e identificações taxonómicas de diatomáceas do Cenozóico do pacífico norte, que potenciaram o reconhecimento das diatomáceas como importantes marcadores biostratigráficos. Após este projeto foi iniciado o *Ocean Drilling Program* (ODP) em 1985 e com o avanço tecnológico do navio JOIDES, face ao anterior, foi possível obter material de cores a maiores profundidades. Os primeiros estudos feitos com este material providenciaram uma introspeção valiosa na história evolucionária das diatomáceas durante o Cretácico (Gersonde e Harwood, 1990). Posteriormente, Yanagizawa e Akiba, disponibilizaram não só uma clarificação taxonómica de várias espécies de diatomáceas, providenciando as suas descrições e relações filogenéticas (Yanagisawa e Akiba, 1990), mas também um aperfeiçoamento da biostratigrafia do Neogénico no pacífico norte, existente até à altura, permitindo assim datações mais precisas (Yanagisawa e Akiba, 1998), atualizando-a de acordo com a escala temporal global de polaridade magnética (GPTS) (Cande e Kent, 1995).

Devido ao sucesso internacional da DSDP e ODP foi iniciado em 2003 um novo projeto, o *Integrated Ocean Drilling Program* (IODP), cuja contribuição permitiu, a obtenção de material de cores proveniente de sites diferentes em 52 expedições. O estudo biostratigráfico deste material ajudou a compreender as relações entre glaciações, modificações de níveis eustáticos, circulações oceânicas, e fenómenos atmosféricos ao longo do tempo (Camoin *et al.*, 2007).

Rochas mais antigas mostram muitas vezes sinais de dissolução e/ou diagénese dos componentes de sílica biogénica. Diatomáceas provenientes de rochas que precedem o Campaniano são geralmente preservadas em condições muito específicas, envolvendo enterramento superficial e fluxos térmicos baixos, que previnem o acontecimento de processos de dissolução (Dun, Res e David, 1901).

6-Enquadramento da área em estudo

6.1-Mar do Japão

O Mar do Japão é um mar semi-fechado rodeado pelo continente asiático e o arquipélago do Japão (Chough *et al.*, 2000). Está conectado ao oceano Pacífico e ao mar de Okhotsk através de quatro estreitos pouco profundos – o estreito da Coreia, o estreito de Tsugaru, o estreito de Soya e o estreito de Tatarsky como é possível observar na figura 2.1. As margens orientais e do norte são caracterizadas pela presença de taludes direitos e com declives acentuados, em comparação com os declives das margens ocidentais e do sul. O mar possui três bacias profundas (bacia de Yamato, bacia do Japão e bacia de Ulleung) separadas topograficamente pelo planalto coreano, o banco de Oki e a cordilheira de Yamato (Figura 6.1) com profundidades que vão até aos 500 m.

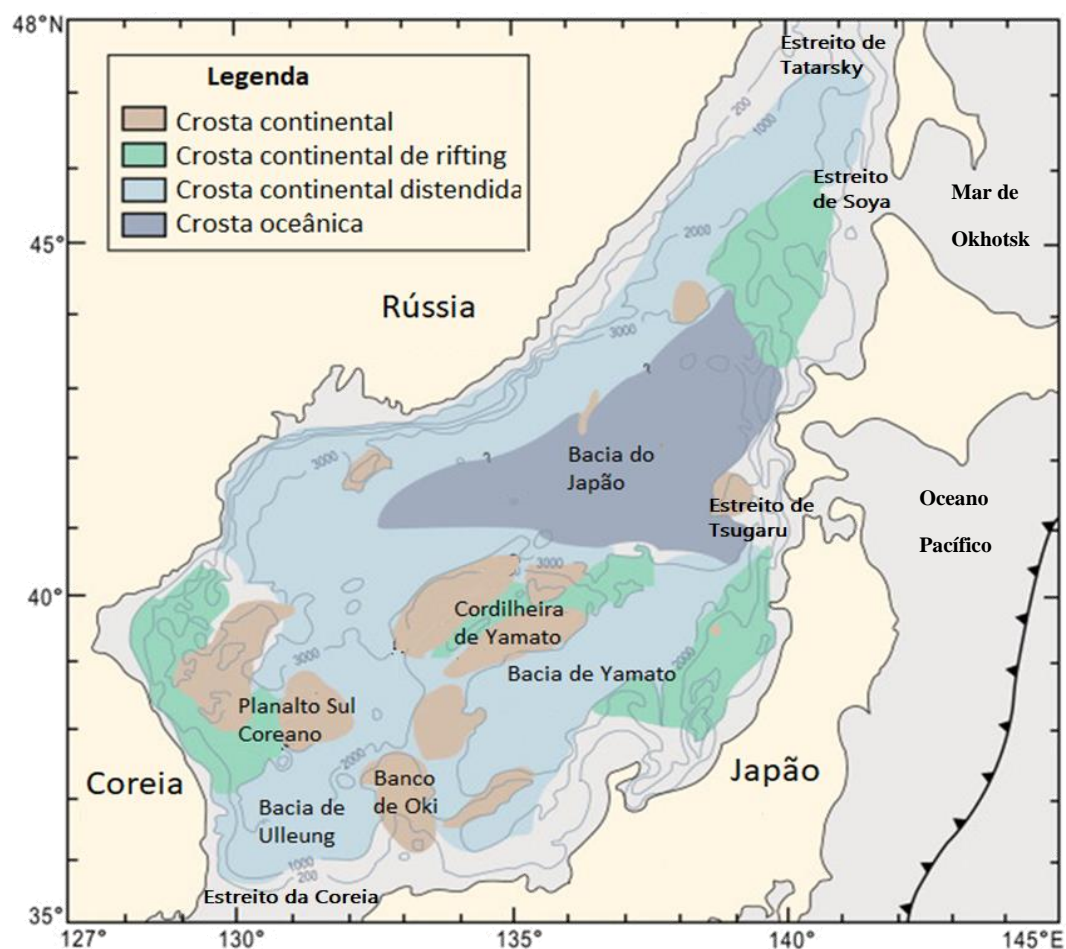


Figura 6.1- Localização do Mar do Japão, mostrando a distribuição do tipo de crosta. Mapa baseado em informação de reflexão/refração sísmica, dados de sedimentos de cores, informação geomagnética e topográfica (adaptado de Yoon *et al.*, 2014).

A bacia do Japão localizada a norte do Mar do Japão possui 700 km de comprimento e 200 a 300 km de largura, com profundidades de 3500 a 3800 m no fundo da bacia. A sudeste do mar está localizada a bacia de Yamato com uma profundidade média de 2500 a 2700 m. Estas duas bacias são bacias com fundo plano, excetuando pequenas montanhas que se erguem até 2000 m do fundo

da bacia (Zhang, *et al.*, 2015). Existe ainda a bacia de Ulleung, que ocupa uma zona crucial a nível tectónico na parte sudoeste do Mar do Japão, entre a placa continental rígida da península Coreana e o arco móvel das ilhas japonesas e consequentemente sofreu deformações significativas da crosta durante a evolução do Mar do Japão (Cha, *et al.*, 2005). Os níveis de sedimentação nesta bacia têm mudado ao longo do tempo - até há cerca de 10000 anos, antes do Holocénico, devido ao deslizamento de sedimentos do talude e à consequente criação de correntes de turbidez, fluxos de detritos eram depositados nos taludes continentais, sob a forma de rochas específicas – os turbiditos (Lee *et al.*, 1996). Durante o Holocénico, domina a sedimentação pelágica, ou seja a sedimentação de grãos finos terrígenos ou de origem biogénica que sedimentam partícula a partícula através da coluna de água (Chough *et al.*, 1984; Lee *et al.*, 1996). As três bacias são limitadas pelo arco das ilhas nipónicas a este e a sul. Retêm as suas próprias características de configuração de bacia, estrutura, processos tectónicos e história de subsidência (Yoon, *et al.*, 2014).

A abertura do Mar do Japão iniciou-se há cerca de 30 Ma no Oligocénico inferior, através da diminuição da espessura da crosta na bacia do Japão seguido de uma expansão do fundo oceânico no final do Oligocénico (Nobes *et al.*, 1992). A fase principal desta expansão ocorreu até ao final do Miocénico. Durante a mesma, a crosta a sul do Mar do Japão sofreu tensão distensiva, levando à abertura das bacias de Ulleung e de Yamato (Jolivet *et al.*, 1994). No final do Miocénico, mudanças na movimentação tectónica influenciadas pela zona de subducção provocaram uma transformação do ambiente tectónico distensional para um ambiente compressional, tendo provocado um levantamento tectónico e a criação de um sistema de dobras e falhas (Lee *et al.*, 1996).

6.2- Sistema de correntes oceânicas do Mar do Japão

O Mar do Japão contém um giro subtropical anticiclônico com uma corrente de limite quente (corrente de Tsushima) a sudeste e um giro subártico ciclônico com uma corrente de limite fria (corrente de Liman) a norte (Ichiye e Takano, 1988) (figura 6.2). A corrente de Liman transporta água a temperaturas baixas a sul do estreito de Tatarsky mediante a costa Euroasiática. A corrente de Tsushima mais quente, transporta água para dentro do Mar do Japão através do estreito de Tsushima e escoar através dos estreitos de Tsugaru e Soya, fornecendo às águas superficiais e intermédias do sudeste calor e sal. Após passar pelo estreito de Tsushima, ramifica-se em dois ou três correntes complexas com vórtices e meandros (Naganuma, 1977).

À medida que vai em direção a norte, a água é lentamente arrefecida ao longo da corrente de Tsushima e alguma desta água torna-se parte da corrente fria de Liman. O site U1430 encontra-se sobre a influência da segunda ramificação da corrente de Tsushima (Figura 6.2), ligeiramente a sul da Frente Subpolar (Tada *et al.*, 2015b).

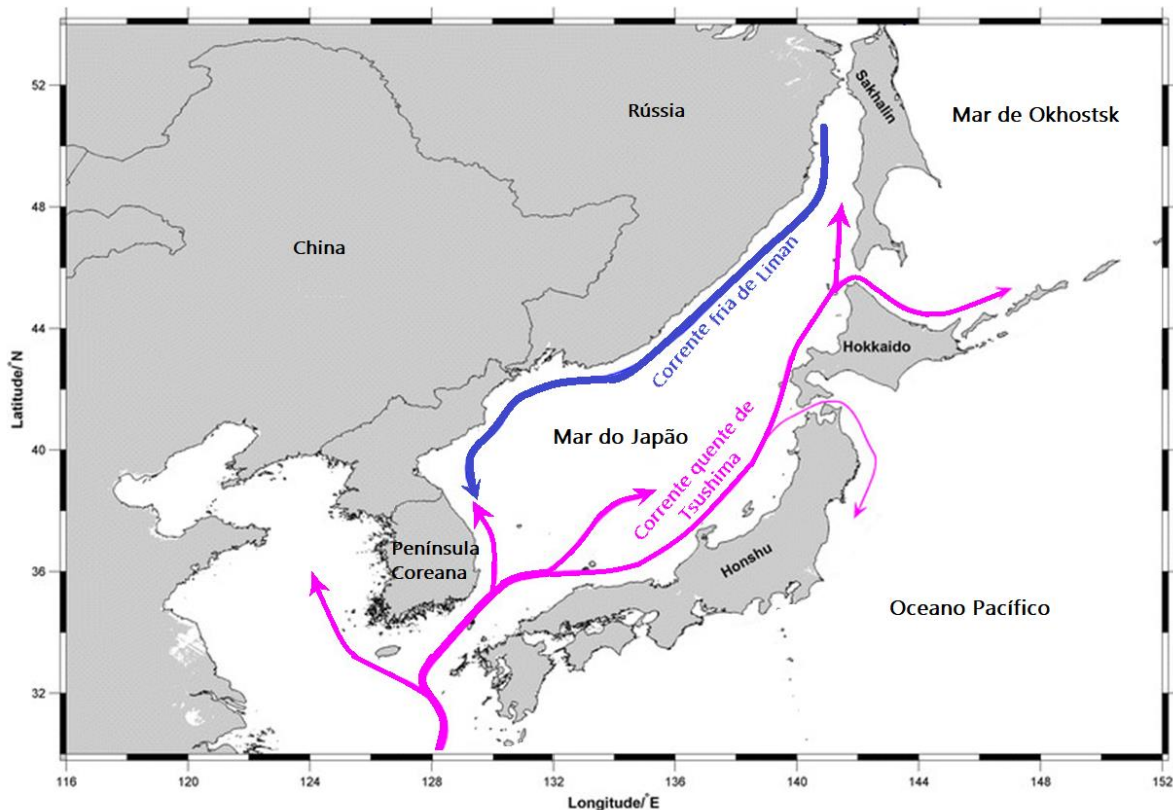


Figura 6.2 – As duas correntes principais do Mar do Japão – a corrente fria de Liman (azul) e a corrente quente de Tsushima (púrpura) (adaptado de Zhang *et al.*, 2015).

6.3-Site U1430

O site U1430 está localizado na parte sudoeste do Mar do Japão a 1072 m de profundidade. Está localizado na rampa oriental do planalto sul coreano, que liga a península coreana à margem norte da bacia de Ulleung. Devido à sua localização estratégica no Mar do Japão, foi alvo da expedição 346 por parte da IODP (figura 6.3) para que, através da análise biostratigráfica dos sedimentos e da informação geológica, geoquímica e geofísica obtida nos sites U1423, U1425 e U1426, fosse possível efetuar a reconstrução de fenômenos climáticos, como mudanças no eixo da corrente de jato Ocidental, a aridez do deserto de Gobi nos últimos 5 Ma, os padrões das monções, as mudanças na oxigenação de águas profundas e a profundidade de compensação de carbono nos últimos 4 Ma. (Tada *et al.*, 2015b).

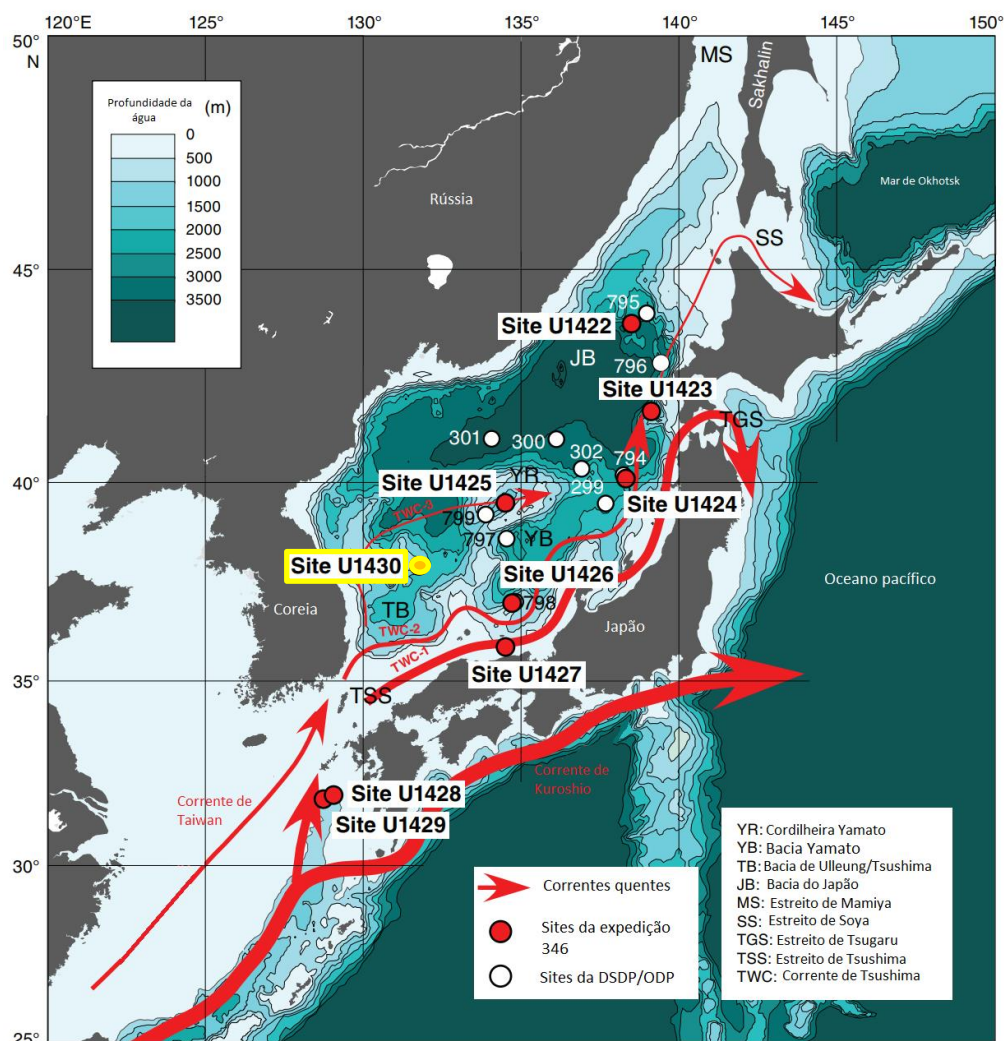


Figura 6.3- Mapa batimétrico do Mar do Japão, com os sites da Expedição 346 da IODP (círculos vermelhos) bem como sites explorados nos projetos DSDP/ODP (círculos brancos). Evidenciado a amarelo o site U1430. A escala a cores representa a batimetria. Sistemas de correntes quentes marcados a vermelho (adaptado de Tada *et al.*, 2015b)

6.3.1-Litologia

As modificações na sedimentação observadas no site U1430 desde o Miocénico refletem mudanças do nível da água do mar, oscilações climáticas e processos vulcânicos e diagenéticos no Mar do Japão (Tada *et al.*, 2015b). Ao longo dos últimos 15 Ma, as mudanças na litologia do Site U1430 parecem ter sido maioritariamente controladas pela subsidência e pelas alterações do nível do mar, que foram por sua vez influenciados pela evolução tectónica regional e pelas alterações eustáticas à escala global (Tada *et al.*, 2015b).

A litologia dominante neste local é caracterizada pela presença de argilas ricas em nanofósseis e argilas siltosas ricas em calcário do Pliocénico superior ao Holocénico e por argilas ricas em diatomáceas do Miocénico médio ao Pliocénico inferior. A sedimentação é dominada pela presença de sílica biogénica com camadas espontâneas de input terrígeno e vulcânico à base de argilas siltosas ou de siltes argilosas. A secção litoestratigráfica do site U1430 pode ser dividida em 4 unidades litológicas: I, II, III e IV (Tada *et al.*, 2015b) (Fig. 6.4), distinguíveis pela sua composição sedimentar base, em particular a abundância relativa das frações biosiliciosas e siliciclásticas do sedimento. As unidades I, II e III são, por sua vez, divididas em 2 subunidades cada uma. A elevada frequência de camadas de input vulcânico na unidade I, confirma a mudança do sistema tectónico distensional para compressional mencionado no capítulo 6.1. Nas unidades litológicas II e III observa-se uma dominância de diatomáceas em sedimentos biosiliciosos. Isto pode ser explicado através das reconstruções paleogeográficas investigadas por Tada (1994). Este estudo sugere que o fundo dos estreitos, ao longo do tempo, ficou menos profundo, de 500 a 1000 m no Miocénico a 130 m no Pleistocénico. Desde o Miocénico médio até ao Pliocénico inferior, devido a uma maior profundidade dos estreitos e ao nível do mar superior (mais de 100 m acima do atual), as condições paleoceanográficas do Mar do Japão eram mais abertas, o que providenciou um maior fluxo de nutrientes como a sílica, aumentando a produtividade das diatomáceas. Em contraste, no Quaternário superior o nível do mar (entre 0 e 130 m abaixo do atual) e com os estreitos menos profundos, o contacto do Mar do Japão com o Pacífico era mais restrito (Tada, 1994).

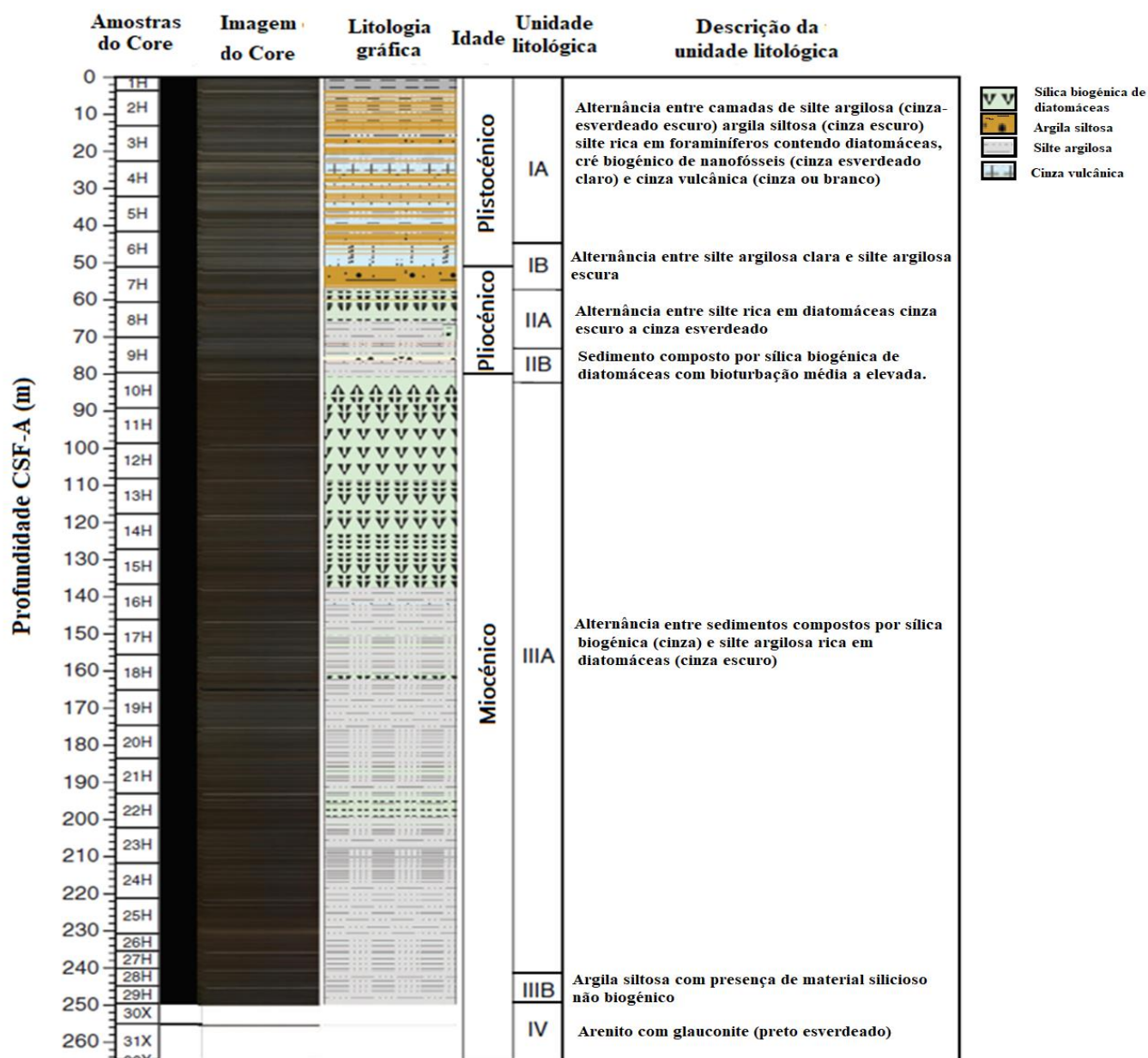


Figura 6.4 – Sumário da litologia do site U1430 (adaptado de Tada *et al.*, 2015b).

6.3.2 – Magnetostratigrafia

No site U1430, através do cálculo da polaridade magnética dos primeiros 40m de core, foi possível identificar o limite de Brunhes/Matuyama (B/M), e foi considerado um ponto de idade cronométrica para a construção do modelo de idades. No entanto, as interpretações paleomagnéticas tornaram-se numa tarefa difícil para sedimentos mais profundos do core, devido à magnetização natural fraca dos sedimentos, ao ruído, à interferência do processo de coring, à perturbação da broca e aos fenómenos de dispersão nas declinações paleomagnéticas. Estes fatores impossibilitaram a identificação de mais limites paleomagnéticos no core (Tada *et al.*, 2015b).

6.3.3 – Biostratigrafia

No site U1430, foram recuperados 250 a 265 m da secção sedimentar datada de há 16 Ma. Na figura 6.5 é possível observar um esquema das biozonas obtidas a bordo, através dos bioeventos recuperados dos diferentes microfósseis – nanofósseis calcários, radiolários, foraminíferos planctónicos e diatomáceas.

Os nanofósseis calcários são raros e muito fragmentados, sendo documentado apenas um bioevento.

Relativamente aos Radiolários, estes são abundantes ao longo da sucessão e apresentam uma boa preservação geral, permitindo a identificação de 22 bioeventos.

Quanto aos foraminíferos planctónicos, apresentam abundância variável ao longo da sucessão, variando de 1 a 101 foraminíferos totais por cada 30 cm³ de sedimento (Tada *et al.*, 2015b) apresentando níveis de preservação e fragmentação variados. As associações de foraminíferos planctónicos são características de climas temperados a sub-árticos – *Globigerina bulloides*, *Neogloboquadrina pachyderma* e *Neogloboquadrina kagaensis*. Foram identificados dois bioeventos.

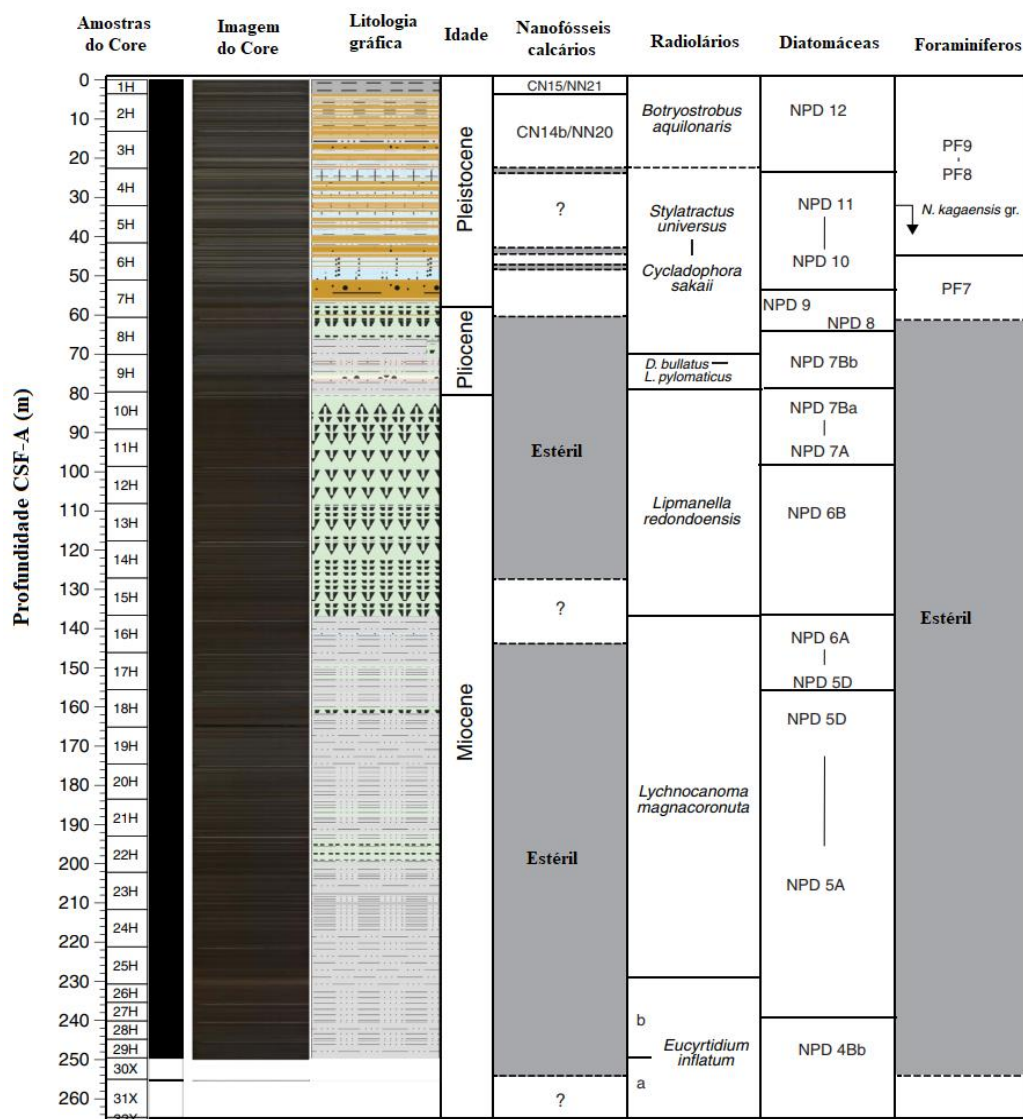


Figura 6.5 – Biozonação do site U1430 obtida através da análise dos microfósseis em cada amostra a bordo do navio da expedição 346 da IODP (adaptado de Tada *et al.*, 2015).

As diatomáceas são abundantes ao longo da sucessão, apresentando boa preservação geral, excetuando algumas amostras. O nível de preservação e de abundância destes microfósseis siliciosos permitiu a identificação de treze bioeventos.

6.3.4-Paleoceanografia e Paleoclimatologia

Tada *et al.* (2018) explica como as mudanças do nível eustático influenciaram a paleoceanografia local e paleoclimatologia do Mar do Japão nos últimos 9,5 Ma. Entre os 9,5 e 7 Ma, água com temperatura mais elevada fluía do Pacífico norte para o Mar do Japão onde o nível da água era superior, através de estreitos centrais e a este do mar. Isto reflectiu-se num período com águas mais quentes. O estreito a Este tinha uma profundidade de 1000m entre os 9,5 e 7,8 Ma, permitindo o influxo de água proveniente da zona mínima de oxigénio proveniente do Pacífico. Durante o arrefecimento global do Miocénico (7,5 a 5,5 Ma) a entrada de água mais fria no Mar do Japão através do estreito de Tatarsky provocou uma descida acentuada da temperatura da água do Mar do Japão. Entre os 5,6 e 5,2 Ma houve um aquecimento moderado da água do Mar do Japão devido ao input de água temperada proveniente do estreito a nordeste do mar. Durante o Pliocénico médio (5 a 3,8 Ma) verifica-se uma predominância de espécies subárticas de microfósseis siliciosos, o que sugere um arrefecimento profundo da superfície da água do Mar do Japão. O período de glaciação do heimsfério norte (3 a 2,7 Ma) e o período de transição do Plistocénico (1,2 a 0,8 Ma) também diminuíram consideravelmente a temperatura da superfície do Mar do Japão .

6.4-Diatomáceas do Mar do Japão

Para construir o modelo de idades, foram descritas treze espécies e cinco variedades de diatomáceas chave para a definição dos bioeventos.

6.4.1-*Shionodiscus oestrupii* (Ostenfeld, 1900)

Descrição: Frústula cilíndrica, com 7 a 60 μm de diâmetro; o eixo pervalvar tem de comprimento de metade (em células grandes) até duas vezes (em células mais pequenas) o diâmetro. A valvocópula possui linhas verticais de poros que confere uma aparência estriada com duas colunas espessas (9 em 1 μm) alternando com quatro colunas mais finas (14 em 1 μm) Possui um conjunto sublinear de aréolas em valvas pouco silicificadas; Valvas mais silicificadas no centro, com a presença de aréolas mais abertas, 6 a 9 aréolas em 10 μm no centro e 9 to 12 aréolas em 10 μm nas margens da valva. Possui uma fultopórtula quase central (F na Figura 6.6) e uma rimopórtula geralmente a 2 ou 3 aréolas de (R na Figura 6.7). Os processos estruturados marginais estão a 1.6 μm de distância e estão em contacto com a membrana siliciosa basal (Fryxell e Hasle, 1980).

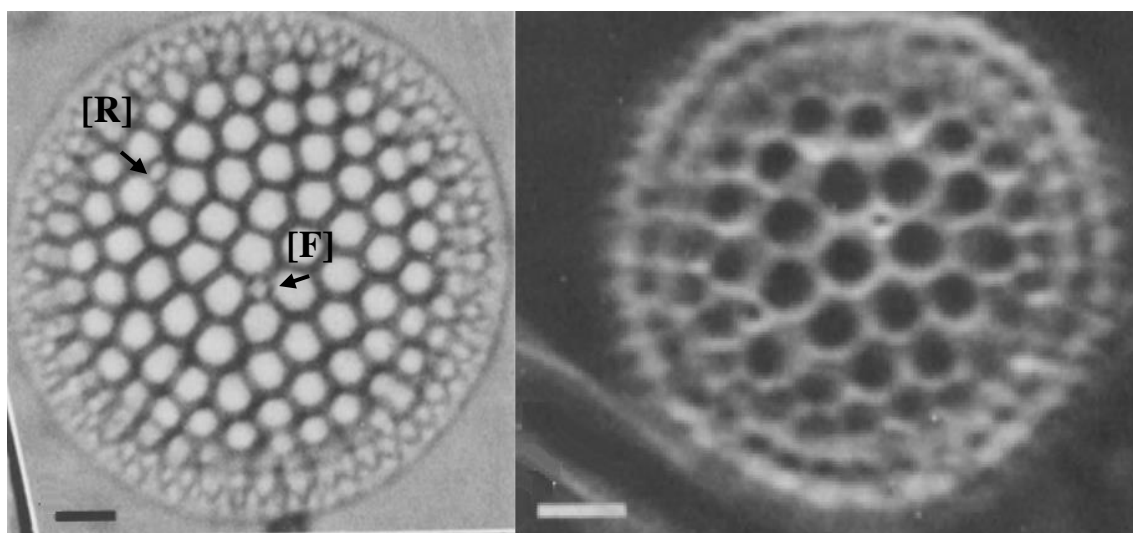


Figura 6.6 – Valvas de *Shionodiscus oestrupii* observadas ao microscópio ótico. [R] – Rimopórtula; [F] – Fultopórtula. A escala representa 2 μm (adaptado de Fryxell e Hasle, 1980).

Ocorrência estratigráfica: A espécie *Shionodiscus oestrupii* tem a sua PO aos 5.56 Ma e marca o limite entre as biozonas NPD 7Bb e NPD 7Ba (Tada *et al.*, 2015b). É uma espécie extante.

6.4.2-*Proboscia curvirostris* ((Jousé) Jordan e Priddle, 1991)

Descrição: A probóscide da espécie *P. curvirostris* consiste num longo tubo cilíndrico oco, caracterizado por uma espinha dorsal conspícua com uma forma triangular lisa perto ou na zona de máxima curvatura da valva (seta azul na figura 6.7). A terminação distal da valva cilíndrica termina numa placa munida de duas espinhas: a espinha dorsal paralela à direção da placa e uma espinha ventral perpendicular a esta. A placa do topo possui um contorno elíptico e pode conter espínulas na sua periferia. A valva é hialina excetuando dois tipos de estrias: linhas de estrias longas longitudinais que delineiam a parte dorsal e ventral da valva que terminam pouco antes do ápice e várias filas de estrias curtas longitudinais restritas à região apical, posicionadas entre as linhas de estrias longas. Como várias espécies extantes do género *Proboscia* (ex: *P. alata*, *P. eumorpha* e *P. subarctica*; (Takahashi *et al.*, 1994), a valva possui uma fenda curta junto do ápice. A espinha dorsal é diagnóstica e distingue esta espécie da *P. barboi* (Akiba e Yanagisawa, 1986; Jordan e Priddle, 1991).

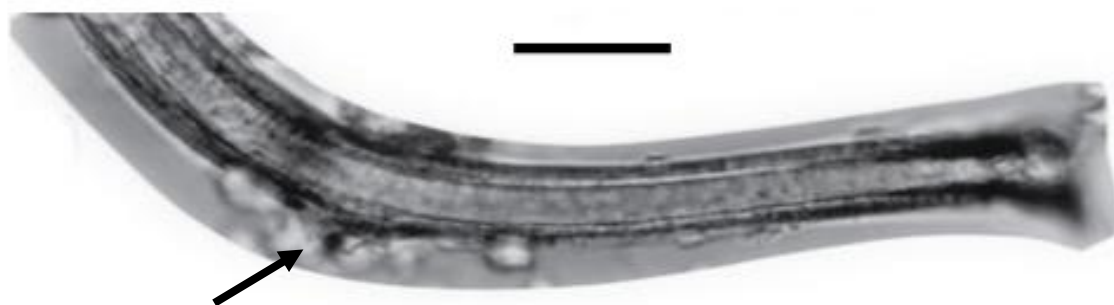


Figura 6.7- Valva de *Proboscia curvirostris* ao microscópio ótico. A seta a preto realça a espinha dorsal característica da espécie. A escala representa 10 μ m. Adaptado de Akiba *et al.*, 2009

Ocorrência estratigráfica: No Pacífico norte, *P. curvirostris* ocorreu há 1.58 Ma (ODP Sites 881 até 884 e 887). A UO de *P. curvirostris* define o topo da Biozona NPD11, à qual deu o nome e varia entre os 0,26 e os 0,35 Ma no Pacífico norte (Barron e Gladenkov, 1995) (Koizumi e Tanimura, 1985; Yanagisawa e Akiba, 1998; Onodera *et al.*, 2013; Teraishi *et al.*, 2013)

Observações: O género *Proboscia* apareceu no Cretácico superior, e contém várias espécies extantes. Espécies com a probóscide longa, são as que mais se assemelham às espécies do registo fóssil. Akiba e Yanagisawa (1986) mostraram que, devido às semelhanças morfológicas, *P. barboi* que procedeu *P. praebarboi*, evoluiu para *P. Curvirostris*, deste modo continuando a linhagem evolutiva. (Donahue, 1970 ; Jordan e Priddle, 1991 ; Takahashi *et al.*, 1994).

6.4.3-*Actinocyclus oculatus* (Jousé, 1968)

Descrição: Valva circular e achatada. As aréolas estão arranjadas radialmente em fascículos, sendo mais dispersas e maiores no centro e mais pequenas e orientadas perto das margens, com 4 a 5 aréolas por cada 10 µm no centro e 10 por cada 10 µm nas margens (figura 6.8). A área central da valva é hialina, raramente com uma aréola central (Jousé, 1968; Sliter, 1988).

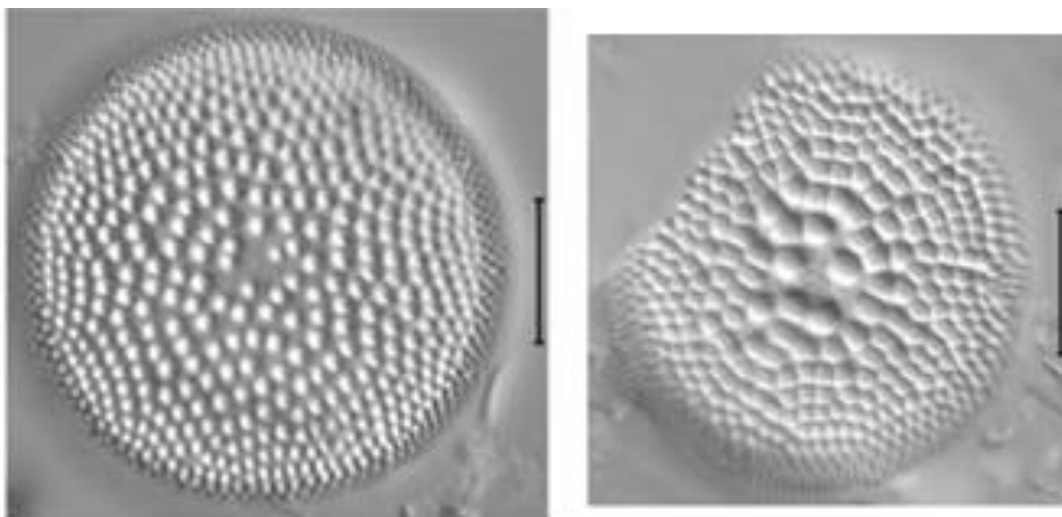


Figura 6.8 – Valvas de *Actinocyclus oculatus* vistas ao microscópio ótico. A escala representa 10 µm (adaptado de Winter *et al.*, 2004).

Ocorrência estratigráfica: A PO de *A. oculatus* ocorre aos 3.85-4 Ma na biozona NPD 7B, onde aumenta gradualmente de abundância até à sua UO aos 1.0 Ma, no topo da Biozona NPD 10 (Yanagisawa e Akiba, 1998).

Observações: O perfil das aréolas permite efetuar a distinção *A. oculatus* de *A. ingens*. A valva mais pequena e achatada e a falta de pórtulas marginais distinguem a espécie de *Cosmiodiscus insignis* (Jousé, 1968).

6.4.4-*Neodenticula koizumii* (Akiba e Yanagisawa, 1998)

Descrição: A frústula tem uma forma linear a linear-elíptica com ápices arredondados (10-42 μm de comprimento e 3-6 μm de largura) como é possível verificar na figura 6.9. As estrias transapicais na face valvar possuem um pontilhado leve de poros (42 a 44 poros por 10 μm) arranjados em quincunce, apenas visíveis no microscópio eletrônico. O manto valvar é também perfurado por um pontilhado de poros em aspeto e densidade semelhante ao da face valvar. Pseudoseptos (primários ou secundários) atravessam a face valvar e são igualmente espaçados, com 6 ou 7 em 10 μm . Existem cerca de 1 a 3 pseudoseptos secundários entre cada dois pseudoseptos primários. Não possui costelas marginais na margem sem rafe. Presença de rafe marginal com fenda contínua. Pórtula presente entre cada duas costelas marginais. Cópula aberta com margens lisas, sem poros. (Yanagisawa e Akiba, 1990).



Figura 6.9 – Valvas de *Neodenticula koizumii*. A escala representa 10 μm (adaptado de Yanagisawa e Akiba, 1990).

Ocorrência estratigráfica: A espécie é comum a abundante no intervalo entre a base da biozona NPD 8 até à biozona NPD 9. A PO da espécie está datada a 3,40-3,93 Ma (Yanagisawa e Akiba, 1998; Tada *et al.*, 2015a) e é ligeiramente diacrónica no Pacífico norte (Koizumi e Tanimura, 1985).

Observações: Esta espécie é bastante similar à *N. kamtschatica*, podendo-se distinguir da última pela presença de pseudoseptos secundários. Difere da espécie *Neodenticula seminae* principalmente pela falta de uma cópula fechada e o contorno mais esguio. A valva de *N. koizumii* distingue-se da valva de *N. seminae* devido à posição paralela dos pseudoseptos apicais em relação ao ápice transapical. As duas espécies diferem também no pontilhado de poros da face valvar: *N. koizumii* possui pontilhado mais completo do que *N. seminae* (Yanagisawa e Akiba, 1990). *N. koizumii* evoluiu da espécie *N. kamtschatica* ao desenvolver os pseudoseptos secundários e precedeu evolucionariamente a espécie *N. seminae* (Yanagisawa e Akiba, 1990).

6.4.5-*Neodenticula kamtschatica* (Zabelina, 1934)

Descrição: Frústula retangular (figura 6.10) com os ápices arredondados na vista pleural; Valva linear a linear-elíptica (9-35µm de comprimento e 3-6.5µm de largura). Estrias transapicais na face valvar são pontilhadas por poros, 43 pontos em 10 µm, visível apenas em observação com iluminação oblíqua em microscópio ótico, ou ao microscópio eletrônico. Os poros estão ordenados em forma de quincunce. O manto valvar é perfurado também por pontilhado por poros da mesma densidade da face valvar. Pseudoseptos primários possuem cristas basais desenvolvidas, com 5 a 8 pseudoseptos primários em 10µm. Pseudoseptos secundários ausentes. Costelas marginais formadas pela ramificação dos pseudoseptos na margem com rafe, com 9 ou 10 costelas em 10 µm, estas costelas estão ausentes na margem sem rafe. Rafe marginal com pórtulas entre cada costela marginal. A rafe é contínua. A cópula é aberta e hialina, sem a presença de poros. A pleura é aberta (Yanagisawa e Akiba, 1990).

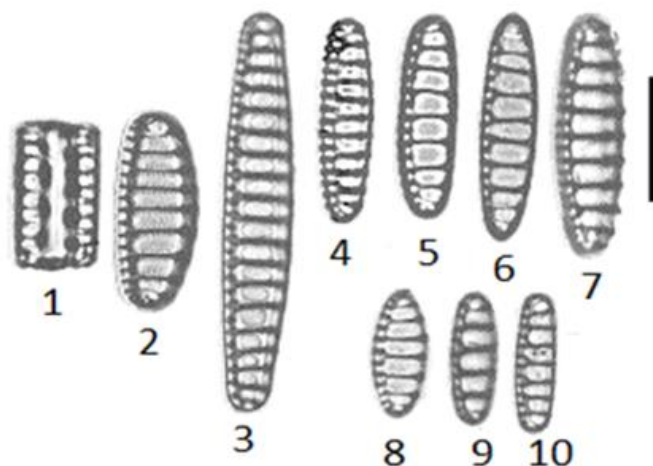


Figura 6.10 – Valvas de *Neodenticula kamtschatica* tiradas ao microscópio ótico em vista pleural (1) e vista valvar (2 a 10). A escala representa 10 µm (adaptado de Yanagizawa e Akiba, 1990).

Observações: Esta espécie distingue-se da espécie *N. koizumii* pela ausência de pseudoseptos secundários. *Neodenticula kamtschatica* é muito similar à espécie *Nitzschia roleii*, mas tem um espaçamento maior entre cada pseudosepto (5 a 8 versus 8 a 10 pseudoseptos em 10µm)

Ocorrência estratigráfica: Ocorre de forma comum a abundante a partir da base da biozona NPD 7B até ao topo da biozona NPD 8. Aparece de forma esporádica na biozona NPD 7A, sendo a sua POC aos 6,4 Ma, e a sua UO aos 2,6-2,7 Ma. (Shimada *et al.*, 2008; Yanagisawa e Akiba, 1990; Tada *et al.*, 2015b).

Semelhanças morfológicas e intervalos estratigráficos indicam que a espécie *N. kamtschatica* evoluiu diretamente de *Nitzschia roleii* através da expansão do espaço entre os pseudoseptos e do aumento do tamanho da diatomácea em geral, que resultou numa ramificação adicional dos pseudoseptos e no desenvolvimento das cristas basais. Evoluiu para a espécie *N. koizumii* a partir da formação de pseudoseptos secundários (Yanagisawa e Akiba, 1990).

6.4.6-*Rouxia californica* (Tempère J. e Peragallo, 1910)

Descrição: Possui uma valva linear (figura 6.11), longa que afunila abruptamente nos ápices, até um ponto arredondado. As duas fendas da rafe possuem um intervalo entre cada uma, e estão rodeadas de uma fila de poros alongados. Estas duas filas de poros estão restritas ao centro da valva. Filas transapicais de 2 a 3 poros surgem na margem da valva, existindo 10 a 12 poros por cada 10 µm. A forma alongada da valva distingue *R. californica* de outras espécies do gênero *Rouxia* (Tempère J. e Peragallo, 1910).

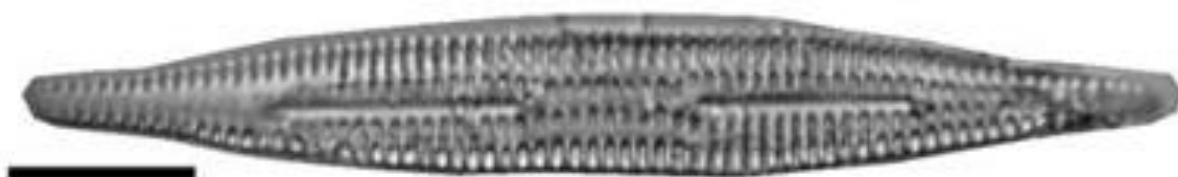


Figura 6.11 – Valva de *Rouxia californica* observada ao microscópio ótico. A escala na figura representa 10 µm. Adaptado de Winter e Iwai, 2002

Ocorrência estratigráfica: A espécie tem a sua POC aos 8,4 Ma, no topo da biozona NPD 6B, surgindo com abundância até à sua UOC aos 6,4 Ma, no topo da Biozona NPD 7A, a seguir à qual mantém aparições esporádicas até ao seu desaparecimento na base da biozona NPD 7Ba.

6.4.7-*Thalassionema schraderii* (Akiba, 1982)

Descrição: Valva bastante silicificada, alongada, ligeiramente expandida na região central (figura 6.12). Com ápices largos e arredondados, 24 a 63 μm de comprimento e 7 a 11 μm de largura. A frústula é retangular, com 10 μm de profundidade. Os ápices são isopolares. A área axial é alargada, lisa e hialina. A valva tem uma fila de poros marginais distintos de grande tamanho. Os poros estão próximos uns dos outros, sendo cada poro ligeiramente alongado transapicalmente, com 9 a 10 poros em 10 μm . Uma fila adicional periférica de poros é observada ocasionalmente em espécimes bem preservados, numa posição ligeiramente oblíqua. O número de poros nesta fila periférica é o dobro da fila principal, 18 a 20 poros por 10 μm . O manto valvar é frequentemente separado da face valvar (Akiba, 1982).



Figura 6.12 – Valvas de *Thalassionema schraedrii* tiradas ao microscópio ótico. A escala na figura representa 10 μm (adaptado de Akiba, 1982).

Ocorrência estratigráfica: A POC da espécie está localizada na base da biozona NPD 6B aos 8.4 Ma, onde começa a ocorrer de forma comum a abundante até à sua UOC aos 7.6 Ma, definindo o topo da biozona NPD 6B e a base da biozona NPD 7A (Yanagisawa e Akiba, 1998; Tada *et al.*, 2015b).

6.4.8-*Denticulopsis katayamae* (Maruyama,1984)

Descrição: Frústula retangular espessamente silicificada com ápices arredondados na vista pleural (figura 6.13). A valva é linear com 7-37 µm de comprimento e 4-7 µm de largura. A face valvar é quase hialina, apenas com um aglomerado de pequenos poros ao longo da margem com rafe, cada conjunto apresenta uma aparência semelhante a um grande poro (Yanagisawa e Akiba, 1990).

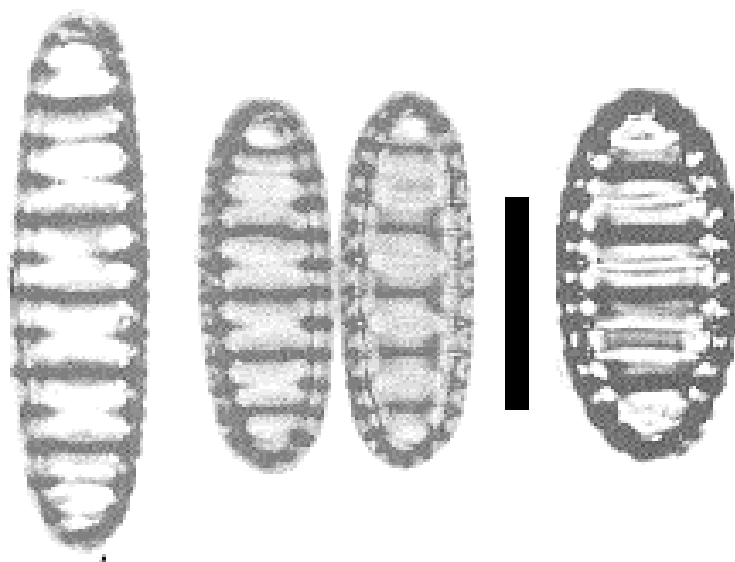


Figura 6.13 – Valvas em vista valvar de *Denticulopsis katayamae* tiradas ao microscópio ótico. A escala na figura representa 10 µm (adaptado de Yanagizawa e Akiba, 1990).

Ocorrência estratigráfica: Espécie comum a abundante na biozona NPD 6A no Miocénico superior, caracterizando a zona, que toma o mesmo nome. A sua PO está localizada a meio da biozona NPD 5D, aos 9,70 Ma e a sua UO aos 8,7 Ma define o topo da biozona NPD 6A (Yanagisawa e Akiba, 1990 e 1998; Tada *et al.*, 2015b).

Observações: A espécie distingue-se de *D.praekatayamae* pela ausência de estrias transapicais na face valvar. *D. katayamae* difere de *D. hyalina* pela presença de pseudoseptos secundários (Yanagisawa e Akiba, 1990). *D. katayamae* é descendente de *D. praekatayamae* devido às suas semelhanças morfológicas. *D. katayamae* é a última espécie da linhagem composta por *D. simonsenii*, *D. vulgaris*, *D praekatayamae* e *D. katayamae* (Yanagisawa e Akiba, 1990).

6.4.9-*Denticulopsis dimorpha* var. *dimorpha* (Yanagisawa e Akiba, 1990)

Descrição: Frústula retangular com ápices arredondados na vista pleural (figura 6.14). Valva linear, de pequeno tamanho, com 8 a 21.5 µm de comprimento e 3 a 5 µm de largura. A face valvar e o manto são pontilhados com uma camada de poros começando das estrias transapicais, 24 a 25 poros em 10 µm de comprimento. Na valva com a cópula fechada 6 a 7 pseudoseptos primários por cada 10 µm. Valvas com a cópula aberta possuem 6 a 7 pseudoseptos primários por cada 10 µm, com cristas basais pouco pronunciadas. Pseudoseptos secundários estão ausentes. A cópula pode ser fechada com rebordo serrilhado, fechada com rebordo liso ou aberta com pontilhado de poros marginal. Entre cada dois pseudoseptos principais existem costelas marginais em ambos os lados da valva. Presença de rafe marginal (Yanagisawa e Akiba, 1990).

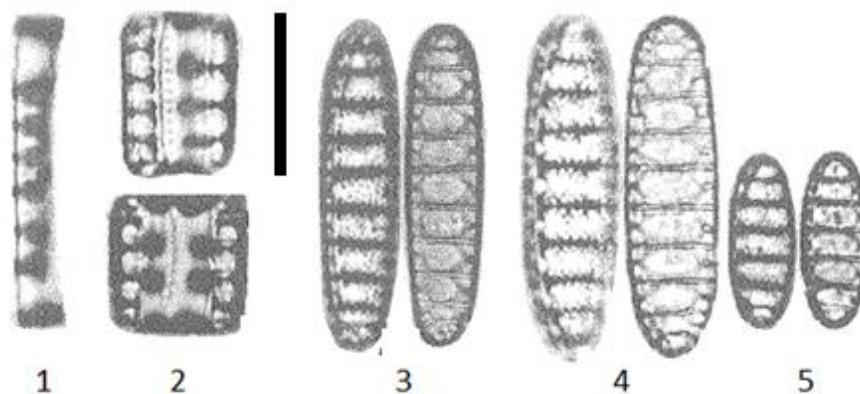


Figura 6.14 – Valvas de *Denticulopsis dimorpha* var. *dimorpha* em vista pleural (1 e 2) e vista valvar (3 a 5) tiradas ao microscópio ótico. A escala na figura representa 10 µm (adaptado de Yanagisawa e Akiba, 1990).

Ocorrência estratigráfica: O intervalo cronológico desta variedade define a Biozona NPD 5D em zonas de média a alta latitude do Pacífico norte. Tem a sua PO aos 9,70 Ma e a sua UO na base da Biozona NPD 6A aos 9,30 Ma (Yanagisawa e Akiba, 1990; Tada *et al.*, 2015a).

Observações: Esta variedade de *D. dimorpha* distingue-se da var. *areolata* pelo tamanho mais reduzido e pela presença de apenas uma camada de poros. A espécie *D. dimorpha* mantém uma relação filogenética próxima com a espécie *D. praedimorpha* tendo por base características morfológicas semelhantes. Isto é evidente devido ao tamanho da frústula e pela falta de silicificação apical da cópula fechada em ambas as espécies, o que sugere que *D. dimorpha* procedeu à espécie *D. praedimorpha* a partir da silicificação da cópula fechada (Yanagisawa e Akiba, 1990)

6.4.10 - *Denticulopsis dimorpha* var. *areolata* (Yanagisawa e Akiba, 1990)

Descrição: Valva linear elíptica com ápices arredondados com 11 a 33 µm de comprimento e 5 a 9 µm de largura (figura 6.15). A face valvar e o manto são perfurados por uma camada dupla de poros. A camada de poros externa forma estrias transapicais, 22 a 25 estrias por cada 10 µm. A camada interna de poros ramifica sob a forma de espessamentos silicificados. Em valvas com a cópula fechada 4 ou 5 pseudoseptos primários em 10 µm. Ausência de pseudoseptos secundários. Costelas marginais em ambos os lados da valva, entre cada dois pseudoseptos primários. Presença de rafe marginal. A cópula pode ser fechada com rebordo serrilhado, fechada com rebordo liso ou aberta com pontilhado de poros marginal. Outras características morfológicas apresentam grande semelhança à var. *dimorpha* (Yanagisawa e Akiba, 1990).

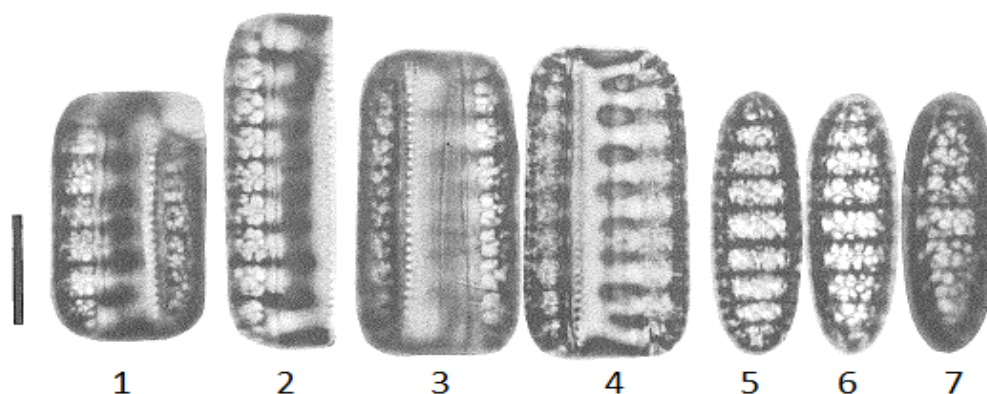


Figura 6.15 – Valvas de *Denticulopsis dimorpha* var. *areolata* tirada ao microscópio ótico em vista pleural (1 a 4) e em vista valvar (5 a 7). A escala na figura representa 10 µm (adaptado de Yanagisawa e Akiba, 1990).

Ocorrência estratigráfica: Esta variedade ocorre no topo da biozona NPD 5D nas altas e médias latitudes do Pacífico norte. Surge pela primeira vez após a UO da variedade anterior, aos 9.4 Ma e desaparece na mesma altura, aos 9.3 Ma (Yanagisawa e Akiba, 1990).

Observações: A variedade *areolata* difere de variedade *dimorpha* principalmente pela dupla camada de porosidade mas também pelo seu tamanho, com a var. *areolata* a apresentar maior largura e comprimento em comparação com a var. *dimorpha*. *D. dimorpha* var. *areolata* evoluiu, muito provavelmente, de *D. dimorpha* var. *dimorpha*, devido à documentação de uma forma transicional entre ambas as variedades (Yanagisawa e Akiba, 1990) e à distribuição estratigráfica das duas variedades. Esta alteração evolucionária foi acompanhada pelo desenvolvimento da camada dupla de poros na face valvar e no manto, mostrando que a variedade *D. dimorpha* var. *areolata* deu por sua vez origem à espécie *D. Ovata* (Yanagisawa e Akiba, 1990).

6.4.11-*Denticulopsis simonsenii* (Yanagisawa e Akiba, 1990)

Descrição: Frústula é retangular com ápices arredondados (figura 6.16). Valva linear, não elíptica ou oval, com 9 a 49 µm de comprimento e 4 a 8 µm de largura. Estrias transapicais na face valvar pontilhadas com poros orientados em forma de quincunce, 22 a 24 poros por cada 10 µm. Presença de 5 a 8 pseudoseptos primários com espaçamento uniforme por cada 10 µm, com 1 a 3 pseudoseptos secundários entre cada dois primários. Costelas marginais muito curtas, por vezes impercetíveis em ambos os lados entre cada pseudosepto. Presença de rafe marginal. Cópula aberta, com margens lisas, sem porosidade. (Yanagisawa e Akiba, 1990).

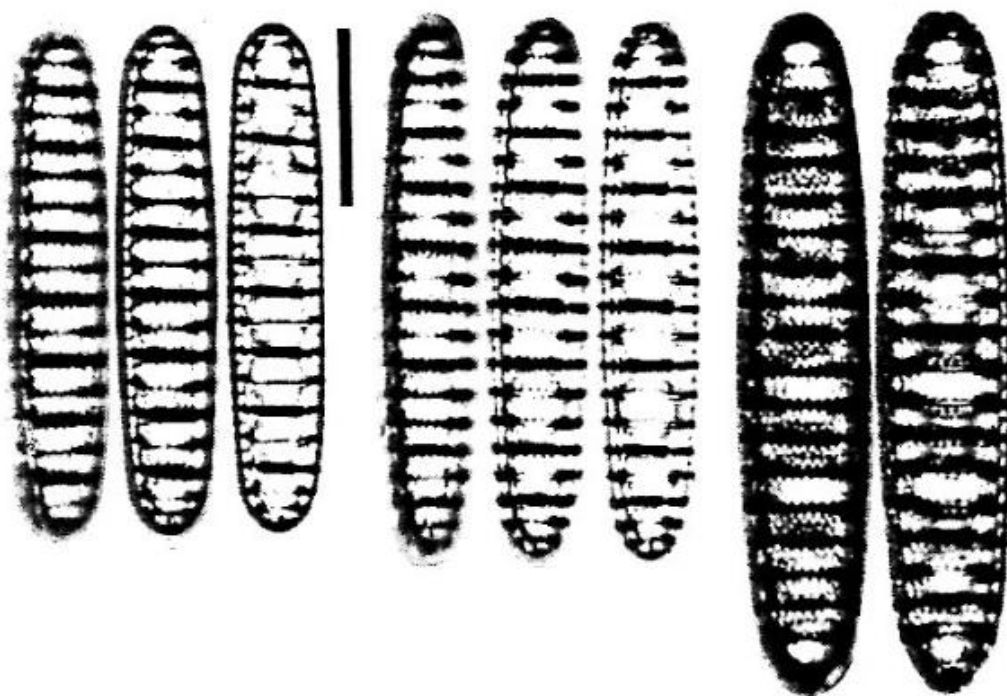


Figura 6.16 – Valvas de *Denticulopsis simonsenii* tiradas ao microscópio ótico. A escala na figura representa 10 µm (adaptado de Yanagisawa e Akiba, 1990).

Ocorrência estratigráfica: Nas altas e médias latitudes do Pacífico norte, esta espécie ocorre primeiramente de forma esporádica no meio da Biozona NPD 4B aos 14,5-14,6 Ma até ao seu súbito aumento de abundância na base da Biozona NPD 5A aos 13,1 Ma. Nessa zona mantém a aparência dominante como um constituinte da associação de diatomáceas do Pacífico norte ao longo do Miocénico médio, diminuindo em abundância após este período, até ao seu desaparecimento aos 9,45 Ma (Yanagisawa e Akiba, 1998; Tada *et al.*, 2015a; Cee e Kent, 1995).

Observações: Esta espécie distingue-se das espécies *D. hustedii* e *D. crassa* pela forma retangular da valva, e da espécie *D. katayamae* pela porosidade na face valvar. A semelhança do padrão de poros desta espécie com a espécie *Denticulopsis lauta* torna esta última num possível ancestral de *D. simonsenii*. Isto é corroborado pela documentação de um espécime considerado uma forma transicional entre as duas espécies (Akiba, 1975, p1 figuras 3a-b).

6.4.12-*Denticulopsis hustedtii* (R.Simonsen ex T.Kanaya 1961)

Descrição: Frústula retangular na vista pleural (figura 6.17). Valva elíptica ou lanceolada com ápices arredondados, com 9 a 37 μm de comprimento e 6 a 10 μm de largura. Estrias transapicais pontilhadas com poros de pequena dimensão, 22 a 26 poros por cada 10 μm , arranjados em forma de quincunce. A face valvar está completamente coberta por estes poros em alguns espécimes, existindo ainda casos onde o pontilhado é reduzido existindo apenas duas estrias com poros perto de cada pseudosepto. Manto valvar finamente pontilhado por poros. Pseudoseptos (primários ou secundários) equidistantes entre si, 6 a 8 pseudoseptos primários por cada 10 μm , com 1 a 3 pseudoseptos secundários entre cada dois primários. Costelas marginais reduzidas presentes em ambas as margens, entre cada dois pseudoseptos primários. Rafe marginal. Cópula aberta com margens lisas, sem poros. (Yanagisawa e Akiba, 1990).

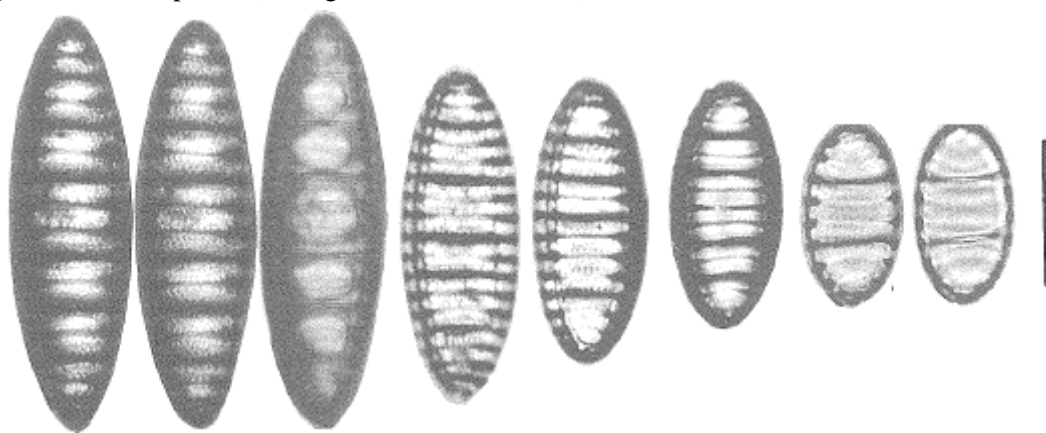


Figura 6.17 – Valvas de *Denticulopsis hustedtii* tiradas ao microscópio ótico. A escala na figura representa 10 μm (adaptado de Yanagisawa e Akiba, 1990).

Ocorrência estratigráfica: Esta espécie está presente estritamente na Biozona NPD 5C, no Miocénico Médio, e é característica desta zona. A sua PO está ligeiramente acima da base desta Biozona, aos 11,1-11,4 Ma e a sua UO um pouco abaixo do topo da mesma Biozona, aos 10 Ma (Yanagisawa e Akiba, 1998).

Observações: A forma elíptica ou lanceolada da valva da espécie *D. hustedtii* distingue-a de outras espécies semelhantes do mesmo género como *D. simonsenii* e *D. vulgaris*. Análises biométricas indicam que difere destas duas espécies na largura e no comprimento da valva. (Yanagisawa e Akiba, 1990).

D. hustedtii derivou da espécie *D. simonsenii* através da mudança da forma da valva, de linear para lanceolada. Esta espécie não deixou descendentes após a sua extinção (Yanagisawa e Akiba, 1990).

6.4.13- *Denticulopsis praedimorpha* var. *minor* (Yanagisawa e Akiba, 1990)

Descrição: Valva de pequeno tamanho, linear com ápices arredondados, 6 a 19 µm, geralmente 6 a 13 µm de comprimento, 2.5 a 4 µm de largura (figura 6.18). Presença de 6 ou 7 pseudoseptos primários por cada 10 µm. Silicificação apical da cópula fechada ausente. Outras características são iguais à var. *praedimorpha*.

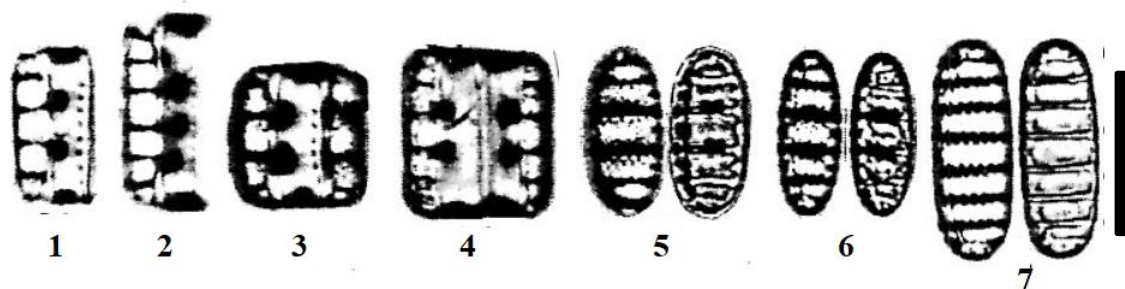


Figura 6.18– Valvas de *Denticulopsis praedimorpha* var. *Minor* em vista pleural (1 a 4) e vista valvar (5 a 7) tiradas ao microscópio ótico. A escala na figura representa 10 µm (adaptado de Yanagisawa e Akiba, 1990).

Ocorrência estratigráfica: *Denticulopsis praedimorpha* var. *minor* tem a sua PO na base da Biozona NPD 5B. Apresenta maior abundância entre 12.4 Ma a 12.75 Ma, período a partir do qual diminui até ao seu desaparecimento aos 11.5 Ma, no topo da mesma biozona (Yanagisawa e Akiba, 1990; Yanagisawa e Akiba, 1998).

Observações: Esta é variedade mais basal da espécie *D. praedimorpha*, mostrando semelhança com a espécie *Denticulopsis lauta* no tamanho reduzido da valva, pontilhado de poros completo e presença de dois tipos de cópula. Yanagisawa sugere que a variedade *minor* evoluiu de uma forma primitiva de *D. lauta* a partir da aquisição de cópula fechada. Esta variedade é um plesiomorfo da var. *Praedimorpha*, var. *Intermedia* e da espécie *D. barronii* (Yanagisawa e Akiba, 1990).

6.4.14- *Denticulopsis praedimorpha* var. *praedimorpha* (Yanagisawa e Akiba, 1990)

Descrição: Frústula retangular com ápices arredondados na vista pleural. Valva linear a linear elíptica na vista valvar, com ápices arredondados, 9 a 24 μm de comprimento e 4 a 6.5 μm de largura (figura 6.19). Estrias transapicais na face valvar com 24 a 26 poros por cada 10 μm , a orientação dos poros é em quincunce. O manto valvar é visivelmente perfurado por poros de pequenas dimensões. Presença de pseudoseptos primários, 5 por cada 10 μm . Dois a três pseudoseptos apicais perto do ápice da valva (Yanagisawa e Akiba, 1990).

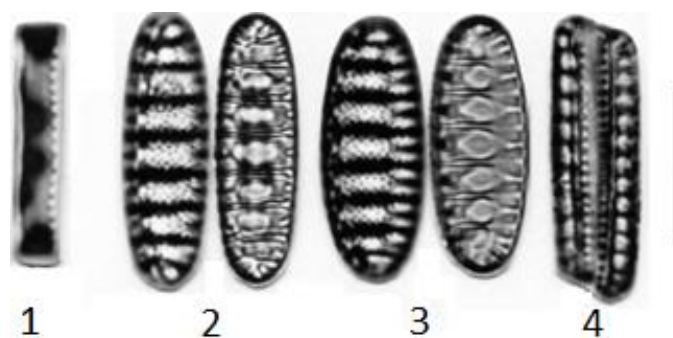


Figura 6.19 – Valvas de *Denticulopsis praedimorpha* var. *praedimorpha* tiradas ao microscópio ótico. (1 e 4) - Vista valvar; (2 e 3) - Vista pleural. A escala na figura representa 10 μm (adaptado de Yanagisawa e Akiba, 1990).

Ocorrência estratigráfica: Esta variedade de *D. praedimorpha* ocorre primeiramente na base da Biozona NPD 5B, aos 12.4 Ma, sendo abundante até ao topo da mesma zona aos 11.5 Ma (Yanagisawa e Akiba, 1998).

Observações: *D. praedimorpha* var. *praedimorpha* evoluiu da var. *minor* através do aumento de tamanho da valva e do espessamento da silicificação apical na cópula fechada (Yanagisawa e Akiba, 1990).

6.4.15- *Denticulopsis praedimorpha* var. *robusta* (Yanagisawa e Akiba, 1990)

Descrição: Valva robusta, linear-elíptica com ápices arredondados, 18 a 25 µm de comprimento e 7 a 9 µm de largura (figura 6.20). O manto valvar é perfurado com uma dupla camada de poros; a camada exterior contém poros de pequeno tamanho contrastando com a interior, que possui poros de maior diâmetro. Valva com 4 ou 5 pseudoseptos primários por cada 10 µm. Cópula fechada, robusta, com espessamento de sílica apical desenvolvido. Outras características muito semelhantes à var. *praedimorpha* (Yanagisawa e Akiba, 1990).

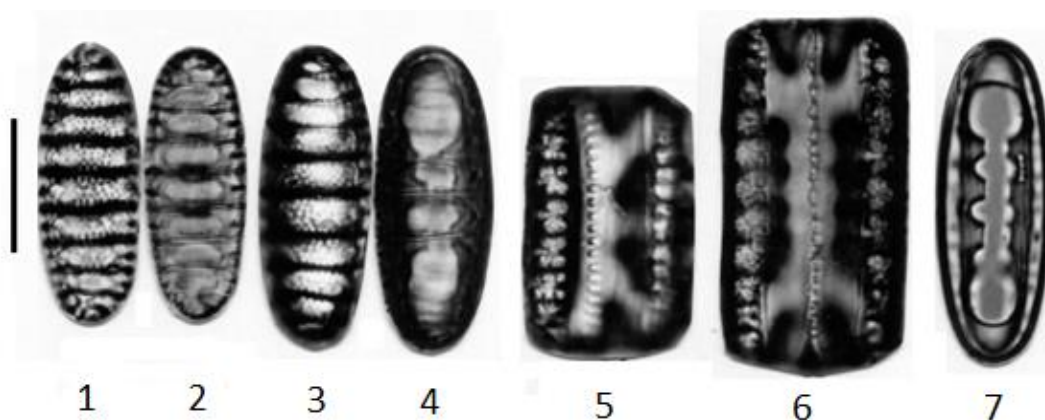


Figura 6.20 – Valvas de *Denticulopsis praedimorpha* var. *robusta*. tiradas ao microscópio ótico (1-4) - Vista valvar; (5 e 6) Vista pleural; 7 – Cópula. A escala na figura representa 10 µm (adaptado de Yanagisawa e Akiba, 1990).

Ocorrência estratigráfica: Esta variedade ocorre esporadicamente perto da base da Biozona NPD 5B aos 11.9 Ma, até ao topo da mesma zona, aos 11.5 Ma (Yanagisawa e Akiba, 1998; Yanagisawa e Akiba, 1990).

Observações: A variedade *robusta* é descendente da variedade *praedimorpha*, devido à continuidade morfológica entre ambas. Esta evolução ocorreu a partir do aumento do tamanho e robustez da valva da var. *praedimorpha*. Tal como as outras variedades de *D. praedimorpha*, não deixou descendentes (Yanagisawa e Akiba, 1990).

6.4.16-*Denticulopsis hyalina* (Schrader, 1973)

Descrição: Frústula retangular com ápices arredondados na vista pleural. Valva altamente silicificada, quase hialina, linear ou linear-elíptica com 8 a 36 µm de comprimento e 3,5 a 7 µm de largura (figura 6.21). Aglomerado de poros alinhados ao longo da margem com rafe. Cada poro possui uma forma triangular ou hexagonal apenas visível ao microscópio eletrônico, 2 poros entre cada pseudosepto primário. Manto valvar perfurado por dupla camada de poros, a camada exterior com 32 a 38 poros pequenos por cada 10 µm e a camada interior com 7 a 10 poros grosseiros por cada 10 µm. Presença de 3 a 4 pseudoseptos por cada 10 µm. Ausência de pseudoseptos secundários. Costelas marginais presentes entre cada dois pseudoseptos, em ambos os lados. Cópula aberta com margens lisas sem poros (Yanagisawa e Akiba, 1990).

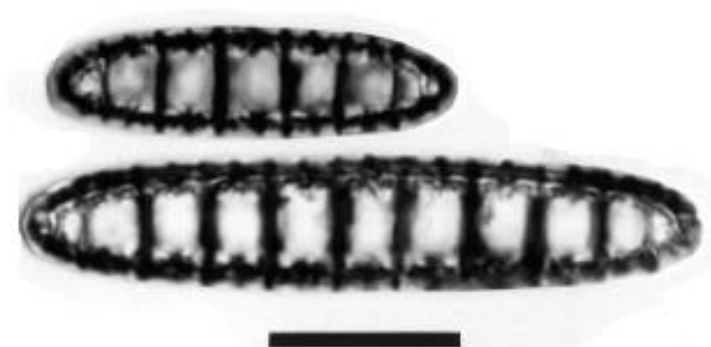


Figura 6.21 – Valvas de *Denticulopsis hyalina* tiradas ao microscópio ótico. A escala na figura representa 10 µm (adaptado de Yanagisawa e Akiba, 1990).

Ocorrência estratigráfica: A PO da espécie define a base da Biozona NPD 4B com o mesmo nome da espécie, aos 14,4 Ma em altas e médias latitudes do Pacífico norte. Esta espécie é abundante ao longo da Biozona, atingindo o máximo de abundância no topo, onde ocupa 80% a 90% da abundância na base da Biozona NPD 5A até aos 13,1 Ma, período após o qual aparece apenas esporadicamente em sequências do Miocénico médio a superior até ao topo da Biozona NPD 6A.

Observações: *D. hyalina* é caracterizada pela sua face valvar quase hialina. Distingue-se da espécie *D. praehyalina* devido à falta de estrias na face valvar e difere de *D. miocenica* devido à seu contorno valvar mais linear. Apresenta semelhança à espécie *D. katayamae* devido à face valvar hialina, porém ao contrário desta última, não possui pseudoseptos secundários (Yanagisawa e Akiba, 1990). *D. hyalina* é um descendente da espécie *D. praehyalina*. A relação filogenética é evidenciada através da continuidade morfológica entre as duas espécies, como foi descrito por Y. Tanimura (Tanimura, 1989). Esta evolução ocorreu provavelmente através da diminuição do tamanho dos poros da espécie *D. praehyalina*. *D. hyalina* deu por sua vez origem à espécie *D. miocenica*, através da mudança do contorno da valva de linear para oval (Yanagisawa e Akiba, 1990)

7- Métodos

7.1 -Colheita de sondagens

Foram recolhidas 32 amostras de “core catchers” adquiridos do furo A do site U1430. O “core catcher” ou CC corresponde aos últimos 20 cm do core de sedimentos de 9 m como mostra a figura 7.1. A broca APC foi utilizada para a obtenção das primeiras 29 amostras de “core catcher”, e foi trocada pela broca XCB para as últimas 3 amostras (30-CC a 32-CC) por causa do aumento da dureza do material.

Devido à fraca recuperação de sedimento e às baixas taxas de penetração com a broca XCB, a perfuração terminou aos 275 m de profundidade. A recuperação total de sedimento foi de 258,24 m (94%). No entanto, com a broca XCB, só foi possível recuperar 1,12 m dos 24,9 m pretendidos (4,5%) (Tada *et al.*, 2015b).

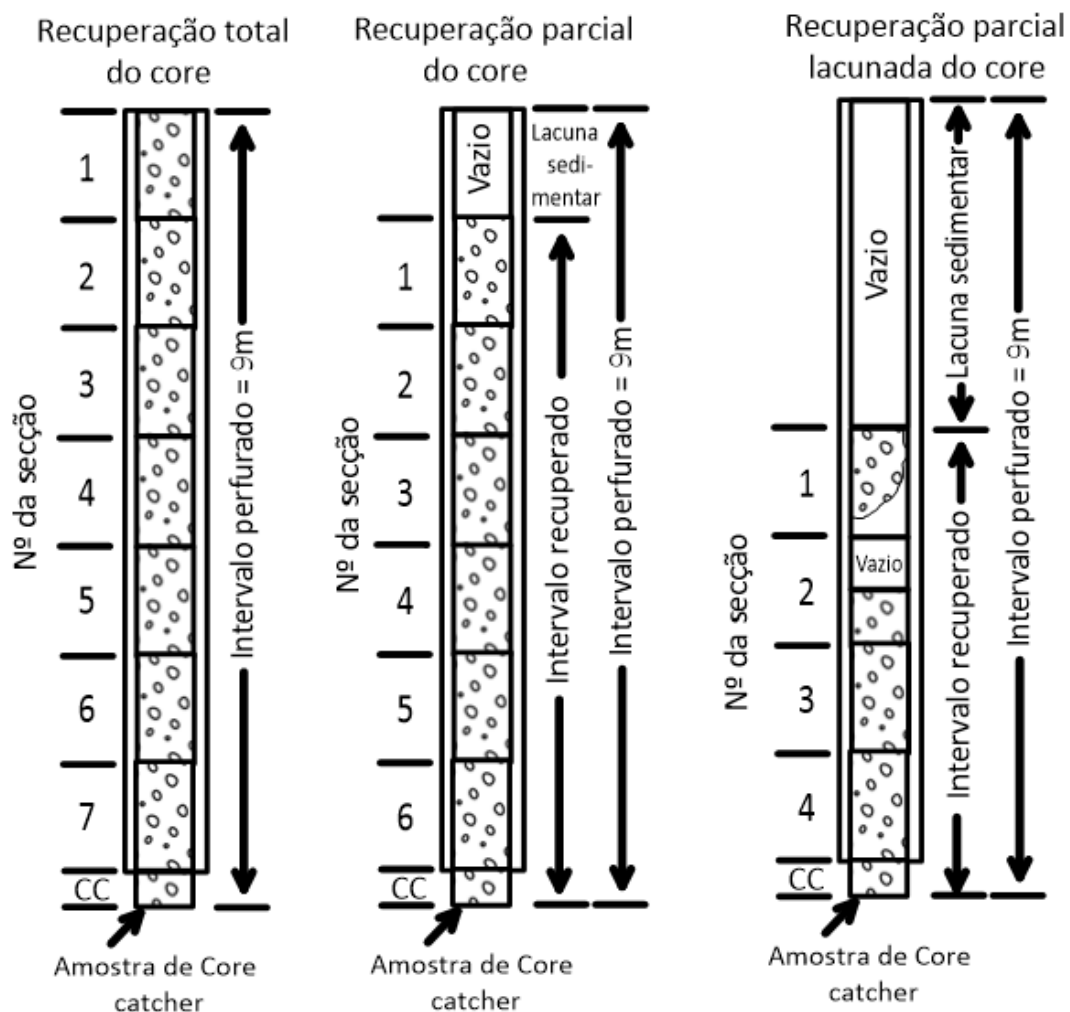


Figura 7.1 – Diagrama do sectionamento e rotulação das diferentes partes do core (Mayer *et al.*, 1992).

7.2 -Processamento laboratorial

A lista de material utilizado em todo o procedimento laboratorial está descrita no quadro 11.1 em anexo.

7.2.1 – Colheita da amostra

Uma quantidade pequena de sedimento de cada amostra de CC (entre 1 e 2 gramas) foi recolhida (figura 7.2) com uma espátula e colocada a secar na estufa para secar durante 24 horas, sendo anotado previamente o peso da amostra húmida. Após a amostra secar, é pesada de novo.



Figura 7.2 – Amostras de core catchers (A) e material para a sua colheita – da esquerda para a direita, uma pinça e três espátulas, bem como copos de amostras previamente identificados acima do material (B)

7.2.2- Dissociação do sedimento e remoção de impurezas da amostra

São adicionados à amostra seca 25 ml de solução 0,033M de Hexametáfosfato de sódio, de modo a desagregar aglomerados maiores de sedimento, ficando em repouso durante 12h. A amostra é então aquecida gradualmente até à temperatura de 100°C, sendo necessária agitação periódica. Após a dissociação do sedimento, cada amostra é colocada a arrefecer à temperatura ambiente durante 2 horas. Em seguida são adicionados 25 ml de peróxido de hidrogénio para eliminar a matéria orgânica. Após a reação se tornar mais efusiva, a amostra é aquecida gradualmente até aos 100°C, mantendo esta temperatura até que pare a reação visível com o peróxido. Depois de a reação parar, as amostras são colocadas a repousar durante 2 horas à temperatura ambiente. São adicionados 25 ml de ácido clorídrico (20%) a cada amostra, para destruir carbonatos, como mostra a figura 7.3, seguido de um período de repouso de 12h para deixar a amostra reagir. Após este período, cada amostra é aquecida mais uma vez até aos 100°C para acelerar a reação, até que esta cesse. As amostras são então colocadas a arrefecer.

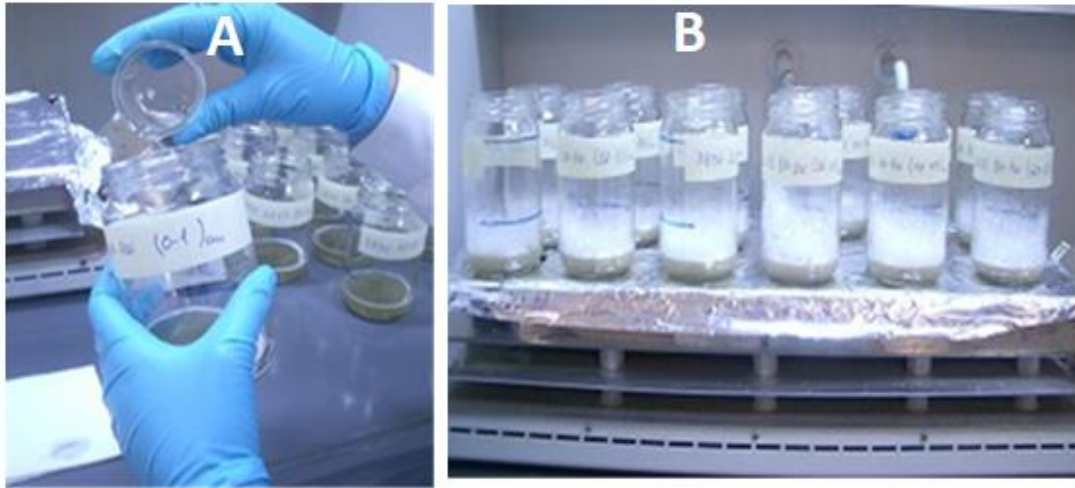


Figura 7.3 – Adição de ácido clorídrico às amostras (A) e aquecimento das mesmas na placa de aquecimento (B)

7.2.3-Remoção de partículas em suspensão

A solução com cada amostra é agitada e é adicionada água destilada ao copo até perfazer 200ml. O copo é colocado a repousar e após 8h é removida água até aos 125 ml, com a ajuda de uma bomba, a cada solução com amostra. É adicionada água destilada mais uma vez até perfazer os 200ml (Figura 4.3) - de acordo com a lei de Stokes, as diatomáceas possuem velocidades de sedimentação diferentes das areias e argilas em suspensão, permitindo a extração destas últimas a partir das lavagens sucessivas. Este processo é repetido até não se verificar material em suspensão, e o pH da solução ser igual 7. Se a solução repousar por mais do que 1 dia são adicionadas 2 gotas de formaldeído para prevenir proliferação de fungos. Seguidamente cada solução é decantada uma última vez e transferida para um copo de 3 bicos de 250 ml.

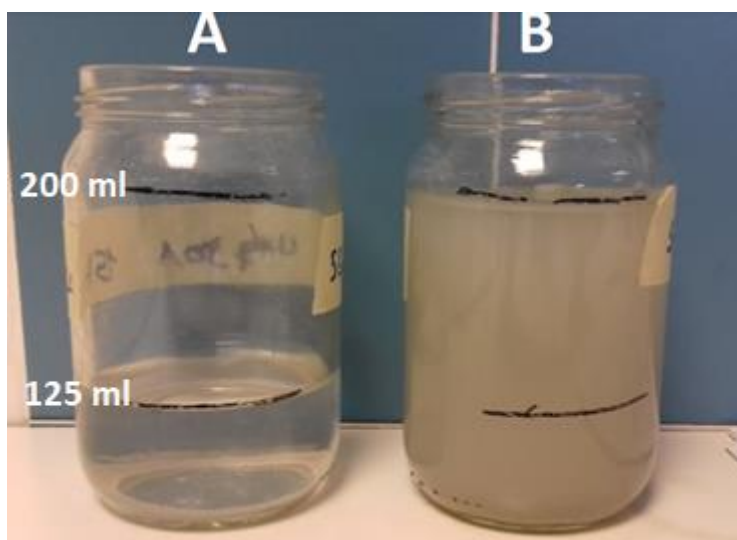


Figura 7.4 – Copos utilizados para a remoção das partículas em suspensão. Remoção de solução até à marca dos 125 ml para remover partículas em suspensão (A) e solução após adição de água até aos 200 ml (B)

7.2.4-Secagem e preparação das lamelas

São identificados os pratos de evaporação de Batterbee (1973) (figura 4.4) com a amostra correspondente e cobertas com água destilada. As lamelas são colocadas em cada uma das 4 cavidades do prato de evaporação, utilizando uma agulha para remover bolhas de ar presas. Seguidamente, o copo de três bicos com a solução correspondente é agitado com uma vareta, para homogeneizar a solução, e são retirados 6 ml, utilizando uma pipeta milimétrica, que são cuidadosamente colocados no centro do prato de evaporação. Estes pratos e a técnica utilizada permitem que as diatomáceas em suspensão assentem de forma aleatória em cada lamela, para garantir uma validação estatística (Batterbee, 1973).

O desumidificador é ligado para acelerar o processo de evaporação da água dos pratos. São adicionadas 6 gotas de formaldeído a cada copo com a restante solução, que é seguidamente coberto com parafilm, para futuro armazenamento após verificação do material da lamela.

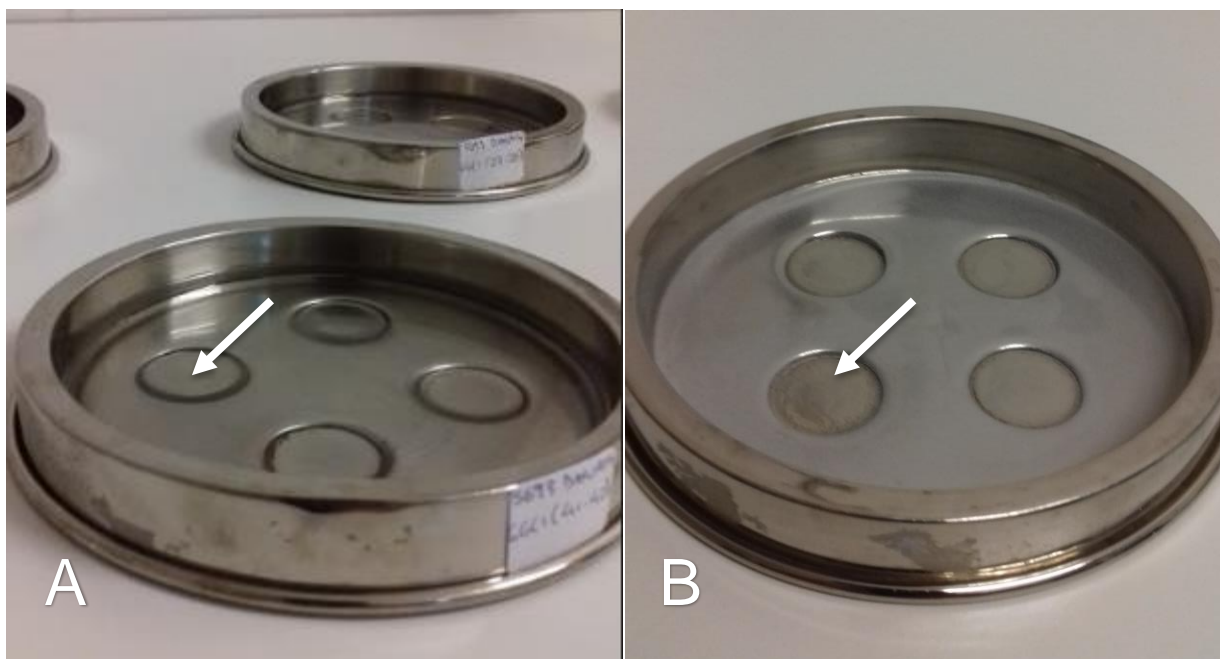


Figura 7.5 – Pratos de Batterbee (Batterbee, 1973) identificados com a amostra correspondente. As lamelas estão colocadas dentro dos quatro orifícios de cada prato (seta branca). Pratos antes da secagem (A) e pratos após a secagem, mostrando as diatomáceas acumuladas no fundo do prato (B).

7.2.5-Preparação das lâminas

Após a deposição das diatomáceas nos pratos e evaporação da água, cada lâmina de microscópio é identificada com a sua amostra correspondente, utilizando uma caneta gravadora (figura 7.6). As lamelas são removidas uma a uma das placas de evaporação com a ajuda de uma agulha. Após a sua remoção, são adicionadas duas gotas de cola UV a cada lamela e coladas à lâmina correspondente. As bolhas de ar entre a lamela e a lâmina são removidas utilizando agulhas. Cada lâmina é seguidamente colocada na caixa de luz UV para curar o adesivo, durante 20 minutos. Após este período de tempo, a cola em excesso é removida dos bordos das lamelas e a lâmina é armazenada, estando pronta a ser visualizada ao microscópio ótico.

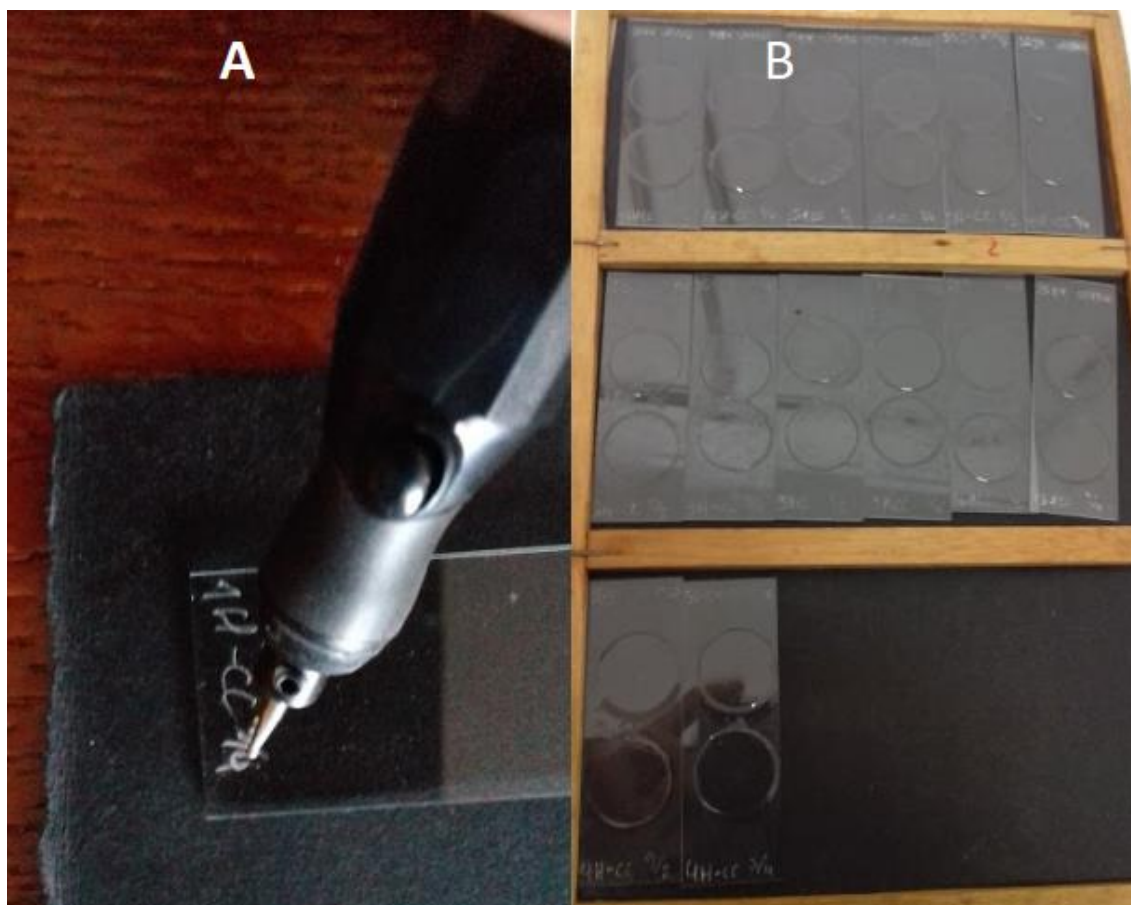


Figura 7.6 – Identificação das lâminas utilizando uma caneta de gravação (A) e conjunto de lâminas de amostras prontas a serem observadas (B).

7.2.6-Armazenamento das amostras

Após a preparação das lâminas, é removida a água em excesso dos copos de 3 bicos que contêm as soluções, e cada amostra é transferida para frascos de 80 ml, sendo adicionado a cada frasco uma gota de ácido clorídrico (20%) e cinco gotas de formaldeído antes de serem armazenados. Todo o processamento laboratorial foi realizado nos laboratórios do IPMA.

7.3 -Observação ao microscópio

Primeiramente é feita uma observação geral às lamelas, com ampliação 200x e 400x, para verificar se existe grande quantidade de impurezas, falta anormal de diatomáceas ou se o material está bem espalhado. Se se verificar algum destes problemas, novas lamelas e lâminas são preparadas, tentando resolver o problema. Caso não se verifique problemas seguimos para a observação com ampliação 1000x, após a aplicação de óleo de imersão. De uma amostra são observadas 3 das 4 lamelas ao longo de 100 campos de visão dos vários transetos da lamela (Figura 7.7), até serem contadas 100 valvas de diatomácea por cada lamela, perfazendo um total de 300 por cada amostra, de modo a seguir o método de quantificação abordado no capítulo 7.4 desta dissertação. A observação ao microscópio foi realizada no IPMA, onde estão atualmente arquivadas as amostras.

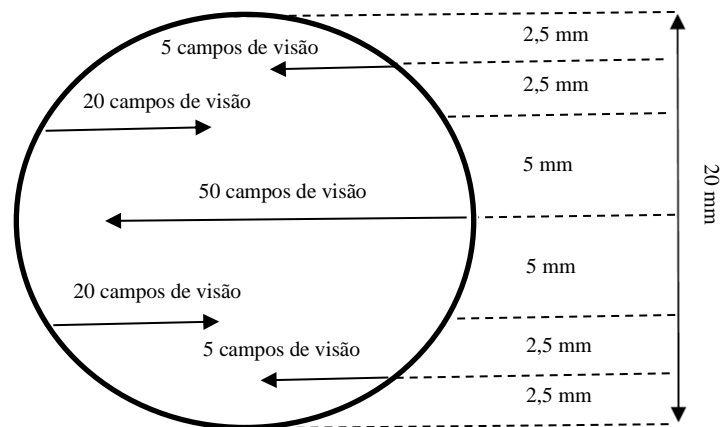


Figura 7.7 – Esquema da lamela com representação dos transetos e campos de visão por cada transecto. Baseado em Abrantes *et al.* (2005).

7.4- Métodos de quantificação

Apesar do significado de uma determinada espécie de microfóssil para a reconstrução do paleoambiente onde habitou, o seu valor dentro do contexto de um estudo não depende apenas da sua presença, mas também da sua abundância na associação.

De modo a verificar que cada espécie chave observada estava representada estatisticamente em cada uma das amostras, foi calculada uma percentagem significativa (p) de valvas de diatomácea por amostra, através do número de valvas contado (n) de acordo com a distribuição binomial abaixo (Fatela e Taborda, 2002).

$$f(x) = \frac{n!}{x!(n-x)!} p^x (1-p)^{n-x}$$

Resolvendo esta equação para $x = 0$ temos a probabilidade de não encontrar indivíduos de uma espécie com a percentagem significativa (p) (Fatela e Taborda, 2002), ficando:

$$f(0) = (1-p)^n$$

É necessário aplicar um limite de confiança, para indicar a aproximação do valor estatístico, à verdadeira proporção da associação. Neste trabalho foi utilizado um limite de confiança de 95% para o cálculo de (p) para cada espécie, então a probabilidade de não encontrar indivíduos de uma espécie é de 5% ($f(0) = 0,05$)

$$0,05 = (1-p)^n$$

Resolvendo a equação em ordem a p permite calcular o seu valor a partir do número de indivíduos para cada amostra (n) :

$$p = 1 - 0,05^{\frac{1}{n}}$$

Aplicando este método podemos verificar no gráfico abaixo (figura 7.8) que todas as espécies com percentagem igual ou superior a 5% são consideradas representativas em amostras com a contagem de pelo menos 100 espécimes. Amostras com 300 espécimes permitem que a presença de uma espécie com percentagem acima de 1% esteja representada na amostra com 95% de confiança, garantindo a confiabilidade do estudo.

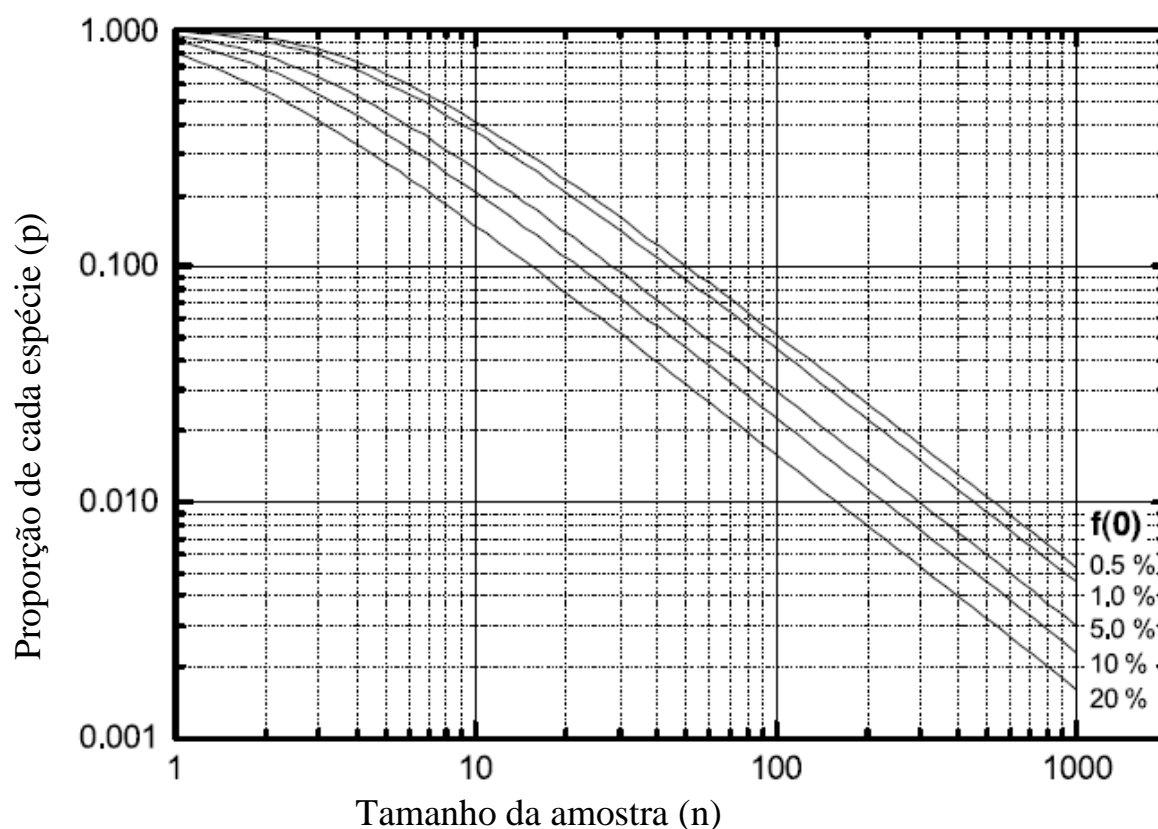


Figura 7.8 - Este gráfico permite calcular a percentagem significativa de uma espécie (p) para uma amostra de tamanho (n) sendo $f(0)$ a percentagem de não encontrar a espécie na amostra. O grau de confiança é dado por $1-f(0)$ (Fatela e Taborda, 2002).

Devido às percentagens baixas das espécies chave presentes nas amostras estudadas (ver tabela 7.1) optou-se por efetuar uma contagem mínima de 300 indivíduos em cada amostra, utilizando um grau de confiança de 95% para o cálculo das percentagens significativas de cada espécie para cada amostra. As percentagens de cada espécie chave em cada amostra são visíveis na tabela 7.1.

As espécies com percentagem inferior à percentagem significativa para cada amostra não foram consideradas para a criação dos bioeventos.

Se em trabalhos anteriores a presença de apenas um espécime numa amostra seria considerado para a criação de um bioevento num modelo de idades, através da aplicação deste método, apenas espécimes presentes em percentagens significativas, relativamente ao tamanho da amostra, é que são considerados, de modo a expressar de uma forma mais correta a informação contida na base de dados, minimizando as contribuições de erros analíticos que possam por em causa a integridade do trabalho realizado.

Tabela 7.1 -Percentagens das espécies chave ao longo das amostras analisadas. São assinaladas a vermelho as percentagens abaixo e a verde as percentagens acima da percentagem significativa para cada amostra

Profundidade (m)	ID da amostra do core U1430A	<i>P. curvirostris</i>	<i>S. oestrupii</i>	<i>N. koizumii</i>	<i>N. Kamstchatica</i>	<i>R. californica</i>	<i>T. schraderi</i>	<i>D. katayamae</i>	<i>D. dimorpha</i> var. <i>areolata</i>	<i>D. dimorpha</i> var. <i>Dimorpha</i>	<i>D. simonsenii</i>	<i>D. hustedtii</i>	<i>D. praedimorpha</i> var <i>minor</i>	<i>D. praedimorpha</i> var <i>praedimorpha</i>	<i>D. praedimorpha</i> var <i>robusta</i>	<i>D. hyalina</i>	<i>A. oculatus</i>	nº de valvas contadas	Significância (95% confiança)
3,58	1H-CC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	-
13,33	2H-CC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	-
22,93	3H-CC	12,11	3,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	305,5	0,98
32,22	4H-CC	0,80	2,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	124,5	2,38
42,1	5H-CC	0,65	8,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	306	0,97
51,42	6H-CC	3,31	2,98	0,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	302	0,99
61,05	7H-CC	0,00	2,62	36,72	17,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	305	0,98
70,53	8H-CC	0,00	2,90	0,00	6,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	310	0,96
79,95	9H-CC	0,00	0,00	0,00	0,32	1,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	309	0,96
89,51	10H-CC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,96	1,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	313,5	0,95
98,89	11H-CC	0,00	0,00	0,00	0,00	12,29	5,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	358	0,83
108,46	12H-CC	0,00	0,00	0,00	0,00	12,14	6,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	329,5	0,91
117,98	13H-CC	0,00	0,00	0,00	0,00	2,49	5,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	321	0,93
127,47	14H-CC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	301	0,99
136,96	15H-CC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	310	0,96
146,52	16H-CC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,24	12,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	312	0,96
156,01	17H-CC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,63	4,06	10,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	320	0,93
165,15	18H-CC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,72	2,22	0,00	5,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	316	0,94
175,01	19H-CC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,52	0,00	0,00	0,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	308	0,97
183,53	20H-CC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,10	0,00	0,00	4,78	1,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	314	0,95
192,95	21H-CC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,60	0,00	0,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	313	0,95
202,25	22H-CC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,14	0,00	6,52	1,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	322	0,93
211,86	23H-CC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,63	0,00	0,00	40,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	319	0,93
221,48	24H-CC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	312	0,96
230,7	25H-CC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	3,59	2,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	306	0,97
235,69	26H-CC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,50	1,88	46,56	0,31	0,00	0,00	0,00	320	0,93
240,43	27H-CC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,30	0,66	40,20	0,66	0,00	0,00	0,00	301	0,99
245,11	28H-CC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,69	0,00	15,82	0,00	0,00	0,00	0,00	177	1,68
249,55	29H-CC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
249,73	30X-CC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
255,34	31X-CC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
265,25	32X-CC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-

8-Resultados e discussão

Devido ao seu grau de preservação e quantidade de valvas disponíveis para efetuar a análise quantitativa, as lâminas com as amostras 1H-CC, 2H-CC, 3H-CC e 4H-CC foram repetidas, utilizando-se 12 ml da solução numa nova placa de evaporação de Batterbee, em vez dos 6 ml colocados nas amostras previamente.

Com a exceção das amostras 1H-CC, 2H-CC, 29H-CC, 30X-CC, 31X-CC e 32X-CC, todas as amostras contêm diatomáceas com níveis variados de preservação e abundância, como se pode verificar na tabela 8.1.

Em amostras com baixa preservação de diatomáceas como é o caso na 4H-CC, 6H-CC, 13H-CC e 28H-CC, temos tendencialmente espécies mais resistentes, o que afeta o registo da associação inicial.

De todas as espécies chave descritas em 6.4 de acordo com a biostratigrafia escolhida, nem todas foram encontradas nas amostras, ou encontradas numa percentagem estatisticamente significativa para serem consideradas para a atribuição de bioeventos, como se pode verificar na tabela abaixo (Tabela 8.2) . Foram atribuídos 23 bioeventos utilizando a informação recolhida e tratada das identificações e contagens efetuadas, como é possível observar na Tabela 8.3.

Tabela 8.1.- Preservação e abundância geral de diatomáceas em cada amostra observada. Preservação: Boa, se mais de 75% das diatomáceas sem sinais de dissolução ou fragmentação elevada; Média, se 40-75% das diatomáceas nestas condições; Baixa, se 0-40% das diatomáceas nestas condições. Para a abundância temos: abundante, se existem mais de 100 valvas por transecto; comum, com 75-100 valvas por transecto; incomum, com 30-75 valvas por transecto; Rara, onde existem 1-30 valvas por transecto; Sem diatomáceas, se existem 0 valvas por transecto. Imagens de cada amostra no anexo (figuras 11.1-11.6)

Amostra	Preservação	Abundância geral de diatomáceas	Notas	Fotografia (Ver capítulo 11.2)
1H-CC	-	Sem diatomáceas	-	Figura 11.1, (1)
2H-CC	-	Sem diatomáceas	-	Figura 11.1, (2)
3H-CC	Boa	Rara	-	Figura 11.1, (3)
4H-CC	Boa	Rara	Poucas diatomáceas, muitos fragmentos de sílica	Figura 11.1, (4)
5H-CC	Média	Comum	-	Figura 11.1, (5)
6H-CC	Baixa	Comum	Diatomáceas pinuladas não observadas	Figura 11.1, (6)
7H-CC	Boa	Abundante	-	Figura 11.2, (1)
8H-CC	Boa	Comum	-	Figura 11.2, (2)
9H-CC	Boa	Comum	-	Figura 11.2, (3)
10H-CC	Média	Comum	-	Figura 11.2, (4)
11H-CC	Média	Comum	-	Figura 11.2, (5)
12H-CC	Média	Comum	-	Figura 11.2, (6)
13H-CC	Baixa	Comum	-	Figura 11.3, (1)
14H-CC	Média	Comum	-	Figura 11.3, (2)
15H-CC	Média	Comum	-	Figura 11.3, (3)
16H-CC	Média	Comum	-	Figura 11.3, (4)
17H-CC	Média	Comum	-	Figura 11.3, (5)
18H-CC	Média	Comum	-	Figura 11.3, (6)
19H-CC	Baixa	Incomum	Muitos espécimes fragmentados ou dissolvidos	Figura 11.4, (1)
20H-CC	Boa	Abundante	-	Figura 11.4, (2)
21H-CC	Boa	Abundante	-	Figura 11.4, (3)
22H-CC	Boa	Comum	-	Figura 11.4, (4)
23H-CC	Média	Comum	-	Figura 11.4, (5)
24H-CC	Média	Comum	-	Figura 11.4, (6)
25H-CC	Média	Comum	-	Figura 11.5, (1)
26H-CC	Média	Comum	-	Figura 11.5, (2)
27H-CC	Média	Comum	-	Figura 11.5, (3)
28H-CC	Baixa	Rara	Diatomáceas muito fragmentadas, poucas valvas intactas	Figura 11.5, (4)
29H-CC	-	Sem diatomáceas	-	Figura 11.5, (5)
30X-CC	-	Sem diatomáceas	-	Figura 11.5, (6)
31X-CC	-	Sem diatomáceas	-	Figura 11.6, (1)
32X-CC	-	Sem diatomáceas	-	Figura 11.6, (2)

Tabela 8.2- Espécies chave, a sua presença nas amostras e a sua presença representativa da associação em pelo menos uma amostra.

Diatomáceas	Presença	Percentagem significativa em pelo menos uma amostra	Fotografia (Ver capítulo 11.3)
<i>Proboscia curvirostris</i>	Sim	Sim	Figura 11.8
<i>Shionodiscus oestrupii</i>	Sim	Sim	Figura 11.7
<i>Neodenticula koizumii</i>	Sim	Sim	Figura 11.9
<i>Neodenticula kamtschatica</i>	Sim	Sim	Figura 11.10
<i>Rouxia californica</i>	Sim	Sim	Figura 11.11
<i>Thalassionema schraderii</i>	Sim	Sim	Figura 11.12
<i>Denticulopsis katayamae</i>	Sim	Sim	Figura 11.13
<i>Denticulopsis dimorpha</i> <i>var. areolata</i>	Sim	Sim	Figura 11.15
<i>Denticulopsis dimorpha</i> <i>var. dimorpha</i>	Sim	Sim	Figura 11.14
<i>Denticulopsis simonsenii</i>	Sim	Sim	Figura 11.16
<i>Denticulopsis hustedtii</i>	Sim	Sim	Figura 11.17
<i>Denticulopsis praedimorpha</i> <i>var. minor</i>	Sim	Sim	Figura 11.18
<i>Denticulopsis praedimorpha</i> <i>var. robusta</i>	Não	Não	N/A
<i>Denticulopsis praedimorpha</i> <i>var. praedimorpha</i>	Sim	Não	N/A
<i>Denticulopsis hyalina</i>	Não	Não	N/A
<i>Actinocyclus Oculatus</i>	Não	Não	N/A

Tabela 8.3- Bioeventos de diatomáceas chave obtidos após o tratamento e observação de amostras CC do site U1430, furo A (UO – última ocorrência; UOC- última ocorrência comum, PO-primeira ocorrência POC-primeira ocorrência comum).

Bioevento	Idade do Bioevento (Ma) (Yanagisawa e Akiba, 1998)	Amostra	Profundidade CSF (m)
UO de <i>P. curvirostris</i>	0,30	3H-CC	22,93
PO de <i>P. curvirostris</i>	1,58	6H-CC	51,42
UO de <i>N. koizumii</i>	2,00	7H-CC	61,05
UO de <i>N. kamtschatica</i>	2,65±0,05	7H-CC	61,05
PO de <i>N. koizumii</i>	3,7±0,2	7H-CC	61,05
PO de <i>S. oestrupii</i>	5,67	8H-CC	70,53
POC de <i>N. kamtschatica</i>	6,4	8H-CC	70,53
UOC de <i>R. californica</i>	6,4	9H-CC	79,95
UOC de <i>T. schraderii</i>	7,67	10H-CC	89,51
POC de <i>R. Californica</i>	8,4	13H-CC	117,98
UO de <i>D. katayamae</i>	8,5	14H-CC	127,47
POC de <i>T. schraderii</i>	8,5	16H-CC	146,52
UO de <i>D. dimorpha</i> var. <i>areolata</i>	9,2	17H-CC	156,01
UO de <i>D. dimorpha</i> var <i>dimorpha</i> ;	9,2	22H-CC	202,25
PO de <i>D. katayamae</i> ;	9,3	22H-CC	202,25
PO de <i>D. dimorpha</i> var. <i>areolata</i>	9,4	18H-CC	165,15
UO. de <i>D. simonsenii</i> ;	9,45	18H-CC	165,15
PO de <i>D. dimorpha</i> var <i>dimoprha</i>	10	22H-CC	202,25
UO de <i>D. hustedtii</i>	10,2	20H-CC	183,53
PO de <i>D. hutsedtii</i>	11,2±0,2	26H-CC	235,69
UOC de <i>D. praedimorpha</i> var. <i>minor</i>	11,5	26H-CC	235,69
PO de <i>D. praedimorpha</i> var. <i>minor</i>	12,9	28H-CC	245,11
PO de <i>D. simonsenii</i>	14,5±0,1	28H-CC	245,11

Na figura 8.1 pode observar-se com maior detalhe as espécies de diatomáceas utilizadas a bordo como marcadores biostratigráficos bem como as biozonas. Estas espécies foram baseadas no trabalho biostratigráfico de Koizumi (Koizumi, 1992), na expedição 127 e 128 da ODP, Barron e Gladenkov (1995) na expedição 145, Yanagisawa e Akiba (1998), Yanagisawa e Watanabe (2005) pela identificação e aperfeiçoamento das biozonas de diatomáceas do Pacífico norte.

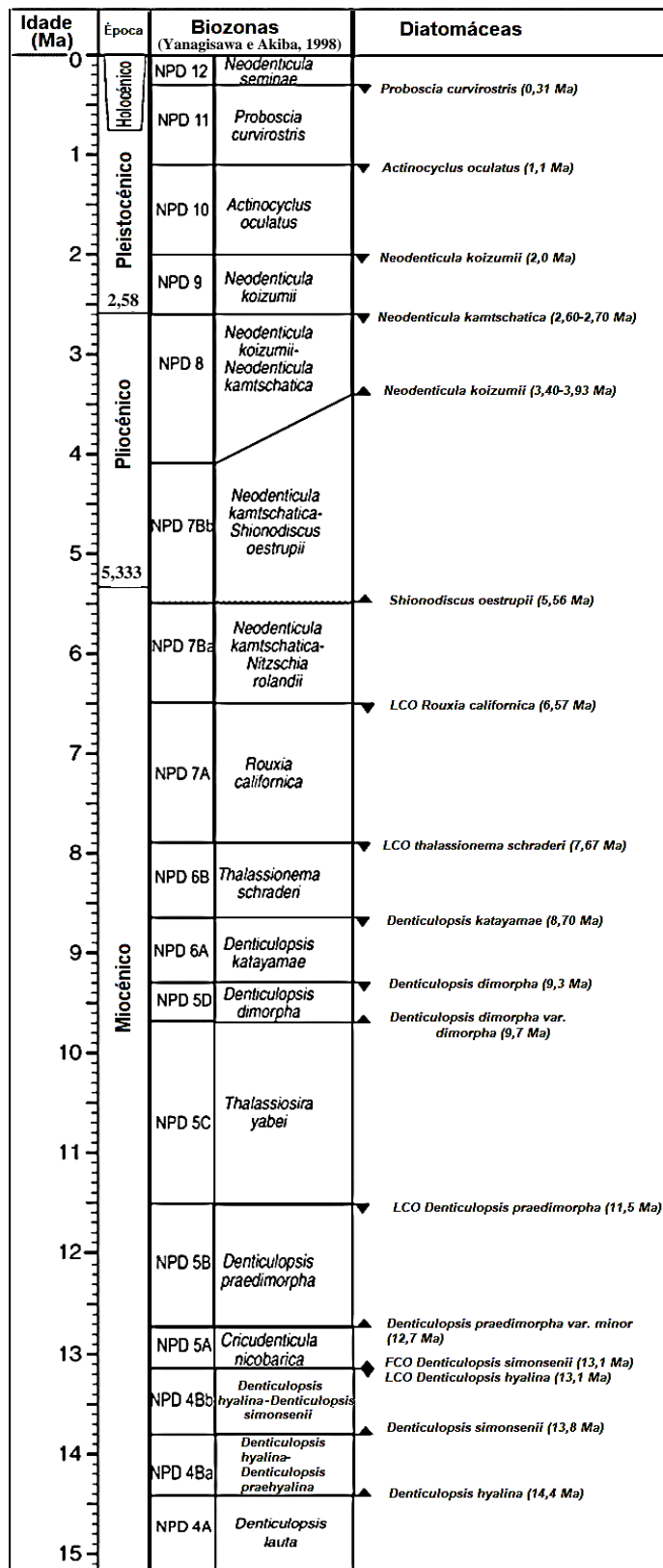


Figura 8.1- Escala de tempo utilizada na expedição da IODP 346 com os respectivos bioeventos de diatomáceas e biozonas até aos 15 Ma. LCO = Última ocorrência comum, FCO = Primeira ocorrência comum, LO = Última ocorrência, FO = Primeira ocorrência (adaptado de Tada *et al.*, 2015b).

Uma análise das percentagens relativas de cada espécie na tabela 7.1 e dos bioeventos na tabela 8.3, permite verificar que a UO da espécie *P. curvirostris* dá-se na amostra 3H-CC, marcando o topo do limite da biozona NPD11 aos 0,3 Ma. Esta espécie aparece em quantidades não

significativas nas amostras 4H-CC e 5H-CC, porém exibe um pico de abundância com percentagem significativa na amostra 5H-CC, onde foi atribuída a sua PO aos 1,58 Ma.

A *Neodenticula koizumii* aparece com abundância relativa de 37% na amostra 7H-CC, e com uma percentagem de 0,66% na amostra 6H-CC (apenas duas valvas nas 302 contadas). Devido a esta baixa percentagem, foi estabelecida para a amostra 7H-CC a PO aos 3,5-3,9 Ma e também a UO aos 2 Ma para esta espécie, definindo a base da biozona NPD 8 e o topo da biozona NPD 9 (figura 8.1) respetivamente. Entre as duas biozonas, e na mesma amostra foi marcada a UO da espécie *Neodenticula kamtschatica* aos 2,6-2,7 Ma onde aparece com uma abundância relativa de 17,7%. A POC desta espécie foi marcada na amostra 8H-CC. A natureza diacrónica deste último bioevento de *N. kamtschatica* ao longo de diferentes latitudes (Yanagisawa e Akiba, 1998) pode explicar o seu desvio em relação aos outros bioeventos, e portanto não foi considerado para construção do modelo de idades proposto.

A espécie *Shionodiscus oestrupii* ocorre a partir da primeira amostra com diatomáceas (3H-CC) até à amostra 8H-CC, onde foi marcada a sua PO aos 5,67 Ma, bioevento primário para definir a base da biozona NPD 7Bb (figura 8.1).

A espécie *Rouxia californica* aparece nas amostras 9H-CC, 10H-CC, 11H-CC, 12H-CC e 13H-CC. A sua UOC pode ser utilizada como bioevento primário para definir a base da biozona NPD7Ba e o topo da Biozona NPD7A aos 6,4 Ma (figura 8.1). A sua POC foi marcada na amostra 13H-CC aos 8,4 Ma.

A espécie *Thalassionema Schraderii* ocorre de forma regular a partir da amostra 10H-CC, onde se atribui a sua UOC aos 7,67 Ma, definindo o topo da biozona NPD 6B (figura 8.1), até à amostra 13H-CC, passando por um período de paracme até à amostra 16H-CC onde mantém uma proporção representativa. Após essa amostra não foram identificadas valvas até à amostra 25H-CC onde aparece numa percentagem relativa de 0,33% (1 valva em 301), percentagem não significativa para a amostra. A presença da espécie nesta última amostra não foi considerada, não só devido à baixa abundância relativa mas também pelo facto da espécie não estar presente entre as amostras 18H-CC e 24H-CC. A POC foi marcada na amostra 16H-CC, aos 8,5 Ma.

A espécie *Denticulopsis katayamae* ocorre da amostra 14H-CC até à amostra 22H-CC, aparecendo numa percentagem não significativa na amostra 23H-CC. Deste modo foi atribuída na amostra 14H-CC a sua UO aos 8,7 Ma, definindo o topo da biozona NPD 6A (figura 8.1) .

As duas variedades de *Denticulopsis dimoprha* aparecem entre as amostras 17H-CC e 22H-CC. A UO da espécie foi atribuída à amostra 17H-CC aos 9,2 Ma e define o topo da biozona NPD5 (figura 8.1). A primeira ocorrência da variedade *dimorfa* desta espécie foi atribuída à amostra 22H-CC aos 10 Ma, sendo um bioevento primário que define a base da mesma biozona NPD5 (figura 8.1).

Denticulopsis simonsenii é uma espécie relativamente abundante (1,69 a 40% das diatomáceas da amostra) nas amostras mais profundas, surgindo a partir da amostra 18H-CC até à última amostra onde foram observadas diatomáceas (amostra 28H-CC). As amostras 18H-CC e 21H-CC são a exceção, onde esta espécie não foi observada em percentagem significativa. Não obstante, foi atribuída a UO, desta espécie, à amostra 18H-CC aos 9,45 Ma e a PO desta espécie à amostra 28H-CC aos 14,5 Ma onde aparece em ambos os casos com percentagem significativa (tabela 4.1).

A espécie *Denticulopsis hustedtii* aparece em percentagem significativa em três amostras: na amostra 20H-CC onde foi marcada a sua UO aos 10,2 Ma e nas amostras 25H-CC e 26H-CC. Foram identificadas duas valvas em 301 na amostra 27H-CC, não sendo representativas da associação da amostra. Por conseguinte, a sua PO foi atribuída à amostra 26H-CC.

A espécie *Denticulopsis praedimorpha* foi encontrada nas últimas 3 amostras onde foram observadas diatomáceas, 26H-CC, 27H-CC e 28H-CC. Foi possível definir a base e o topo da biozona NPD 5B (figura 8.1). A UOC da espécie foi então marcada na amostra 26H-CC aos 11,5 Ma e a PO da variedade *minor* atribuída à amostra 28H-CC. Nas amostras 27H-CC e 28H-CC foram contadas apenas uma e duas valvas, respetivamente, da variedade *praedimorpha* em 621 observadas. Como não foi necessária para a definição da biozona NPD 5B, e devido a esta baixa percentagem não significativa destas amostras, os bioeventos desta variedade não foram considerados.

Não foram identificadas valvas de *Denticulopsis hyalina* ou de *Actinocyclus oculatus* nas amostras.

Como as amostras foram retiradas dos CC e estes representam apenas os últimos 20 cm do core, utilizaram-se barras de erro verticais para representar o erro associado da atribuição do bioevento à profundidade da amostra correspondente. Este erro de profundidade corresponde ao comprimento do sedimento recuperado em cada core, em metros.

Como explicado anteriormente, algumas amostras que continham percentagens não representativas das diatomáceas da amostra não foram consideradas para a atribuição de bioeventos. No gráfico da figura 8.2, abaixo, é possível distinguir os desvios dos bioeventos não significativos (vermelho) dos bioeventos significativos mencionados anteriormente.

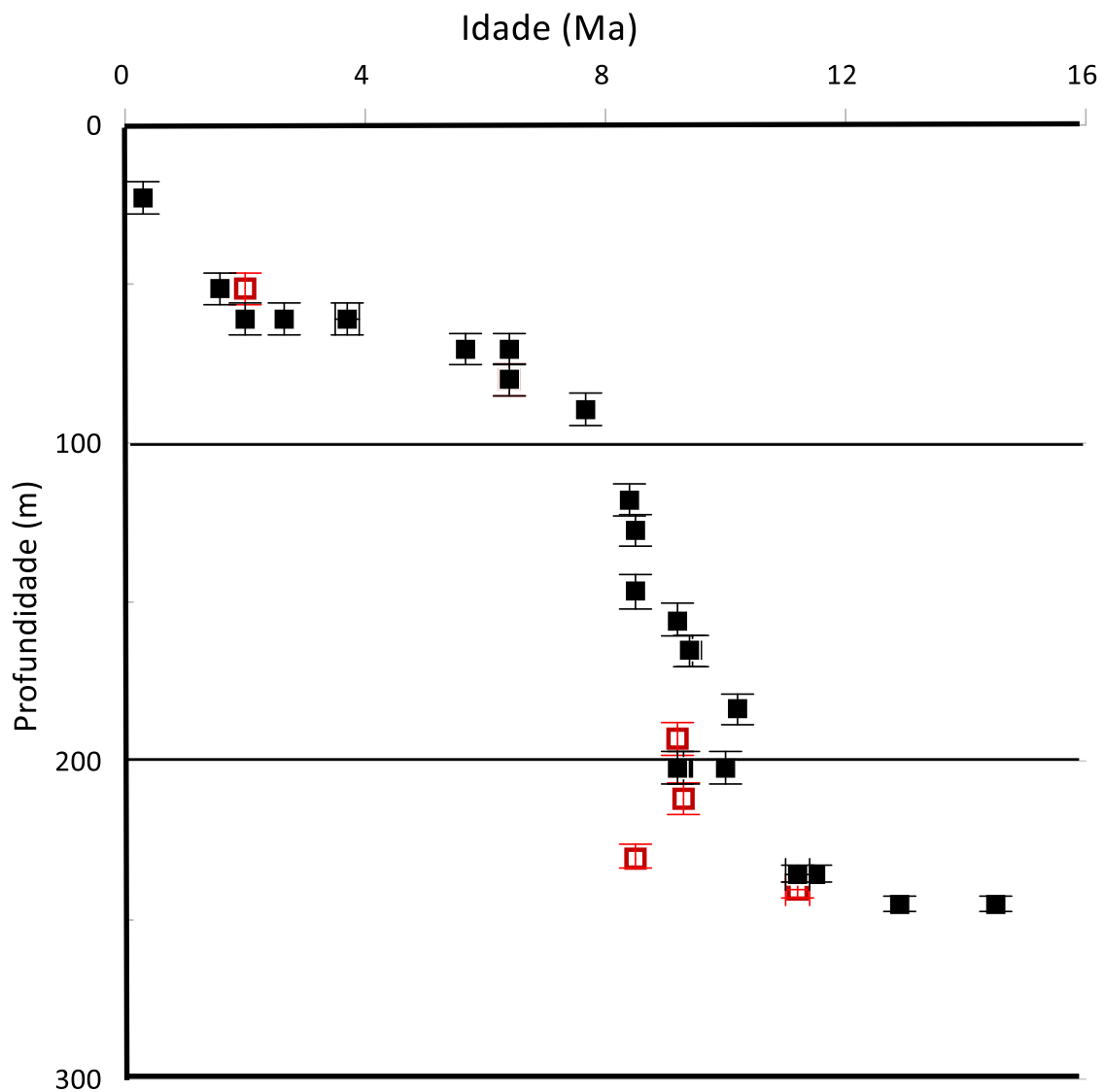


Figura 8.2- Gráfico de idade/profundidade com os bioeventos obtidos (quadrados pretos) e bioeventos obtidos se não forem consideradas as percentagens significativas mínimas para cada espécie (quadrados vermelhos). Barras de erro verticais representam erro de profundidade, e barras de erro horizontais representam erro de idades.

Verificam-se desvios de profundidade na UO de *N.koizumii* (10 m), na POC de *T.schraderii* (84 m), na PO de *N. kamtschatica* (9 m), na UO de *D. dimorpha* var. *dimorpha* (10 m) e na PO de *D. hustedtii* (5 m). Apesar de se encontrar em percentagens significativas para a criação de bioeventos, *D. praedimorpha* var. *praedimorpha* foi também encontrada nas amostras 26H-CC e 27H-CC.

Ao comparar com a informação da expedição, verifica-se que existe um aumento no número de bioeventos obtidos neste trabalho em comparação com os bioeventos de diatomáceas obtidos a bordo, como se pode verificar no gráfico da Figura 8.3.

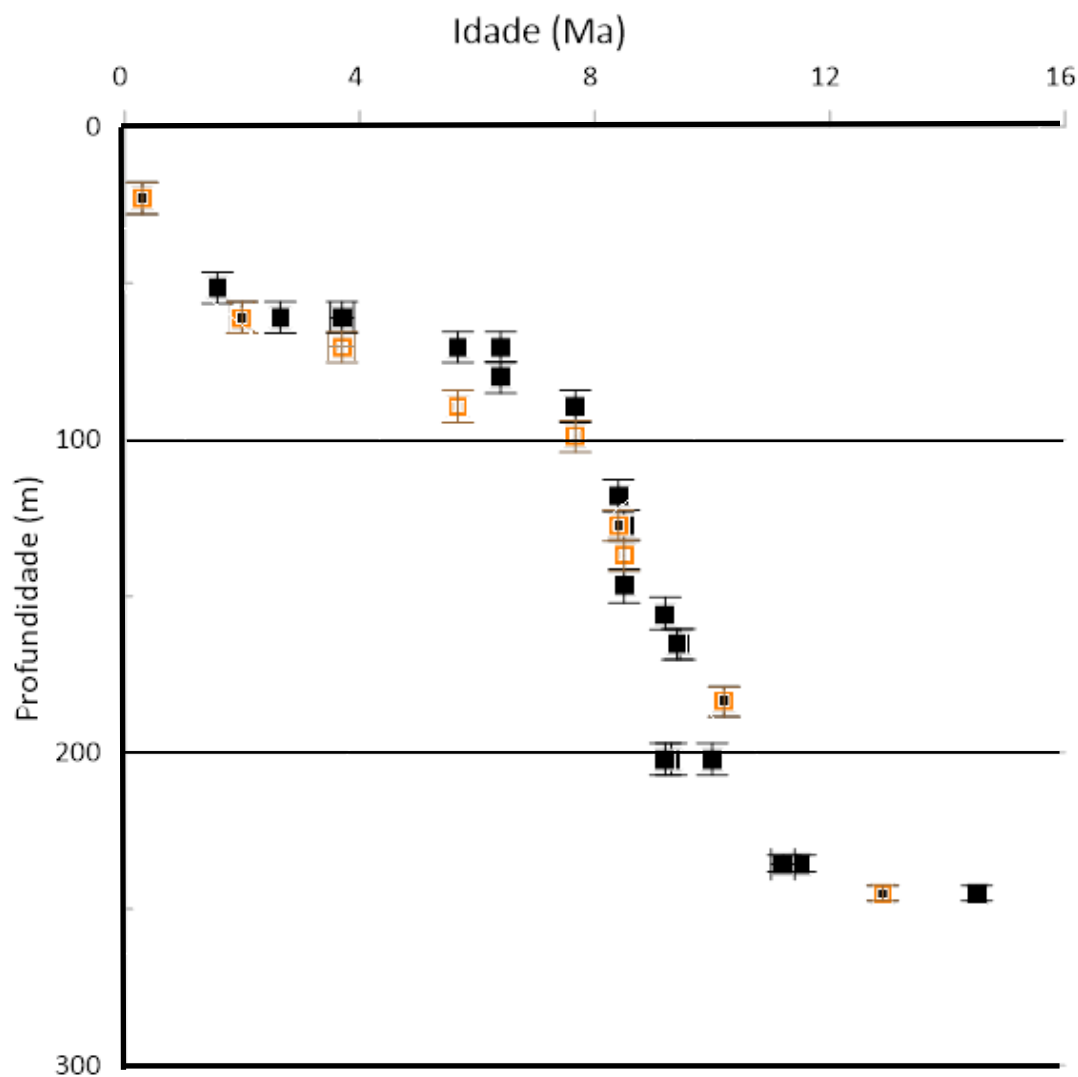


Figura 8.3 – Gráfico de idade/profundidade comparando os bioeventos de diatomáceas obtidos após análise laboratorial e estatística das amostras (quadrados pretos) e os bioeventos de diatomáceas obtidos no navio (quadrados amarelos). Barras de erro verticais representam erro de profundidade, e barras de erro horizontais representam erro de idades. Informação sobre bioeventos atribuídos a bordo adaptada do relatório do site U1430A, expedição 346 (Tada *et al.*, 2015b).

Foram identificados dez bioeventos para além dos 13 identificados a bordo do navio (Tada *et al.*, 2015b) : a PO de *P.curvirostris*, a PO de *Denticulopsis katayamae*, as PO e UO de *D.dimorpha* var. *areolata*, as PO e UO de *D.dimorpha* var. *dimorpha*, a UO de *Denticulopsis Simonsenii*, a PO de *Denticulopsis hustedtii* e as PO e UO de *Denticulopsis praedimorpha* var. *minor*. Existem também vários desvios na profundidade dos bioeventos a bordo em relação aos obtidos, entre a PO de *N.koizumii* (9,48 m), a PO de *S.oestrupii* (19 m), a POC de *R.californica* (9,5 m) e a POC de *T.schraderii* (9,5 m).

Como foi explicado na introdução, devido a condicionantes temporais na expedição, não foi efetuado o mesmo tratamento laboratorial na preparação das amostras analisadas neste trabalho

a bordo do navio. A observação a bordo é feita com esfregaços que contêm maiores quantidades de argilas e outros contaminantes de visão, podendo influenciar negativamente o processo de contagem e identificação. Por outro lado, o conteúdo muito elevado de diatomáceas nos esfregaços pode também proporcionar outro obstáculo à identificação. Isto pode explicar o número reduzido de bioeventos obtidos no navio face aos bioeventos considerados neste trabalho, bem como os desvios dos bioeventos acima mencionados. Esta diferença nos bioeventos verifica-se no modelo de idades e traz dúvidas quanto à hipótese da existência de um hiato no registo sedimentar entre 7,40 Ma e 5,06 Ma (figuras 8.4 e 8.5), pois os bioeventos pertencentes a diatomáceas e outros microfósseis obtidos no navio, não foram considerados para a construção do modelo de idades deste trabalho. Por outro lado, os bioeventos PO de *Shionodiscus oestrupii*, PO de *Neodenticula koizumii*, UOC de *Rouxia californica* e UO de *Thalassionema schraderii*, obtidos após a análise feita neste trabalho apontam para uma taxa de sedimentação baixa dos 7,67 Ma aos 2 Ma em vez de um hiato, como se pode observar no gráfico da figura 8.5, a azul. Além disso, a análise litológica do sedimento do core menciona a falta de uma evidência visual para uma superfície erosional ou mudança litológica na profundidade proposta para o hiato (Tada *et al.*, 2015b).

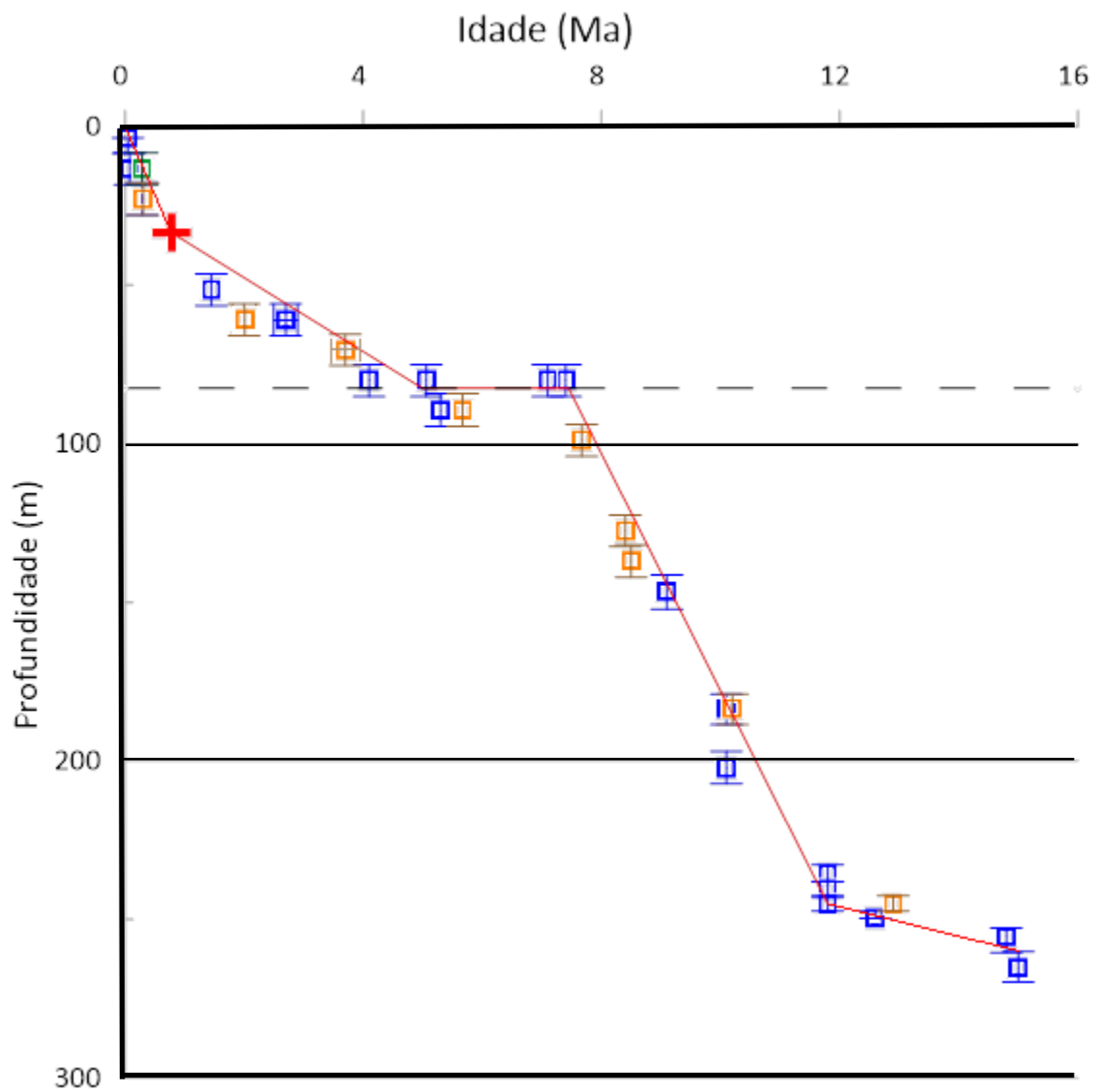


Figura 8.4- Modelo de idades (linha vermelha) e bioeventos obtidos a bordo do navio na expedição 346 ao site U1430. O hiato conjecturado está marcado como uma linha preta a tracejado. Os bioeventos representados pertencem a nanofósseis calcários (verde), radiolários (Azul escuro) e diatomáceas (amarelo). O limite de Brunhes/Matuyama (cruz vermelha) foi o único evento paleomagnético obtido a bordo. Barras de erro verticais representam erro de profundidade, e barras de erro horizontais representam erro de idades. Adaptado do relatório do site U1430A, expedição 346 (adaptado de Tada *et al.*, 2015b).

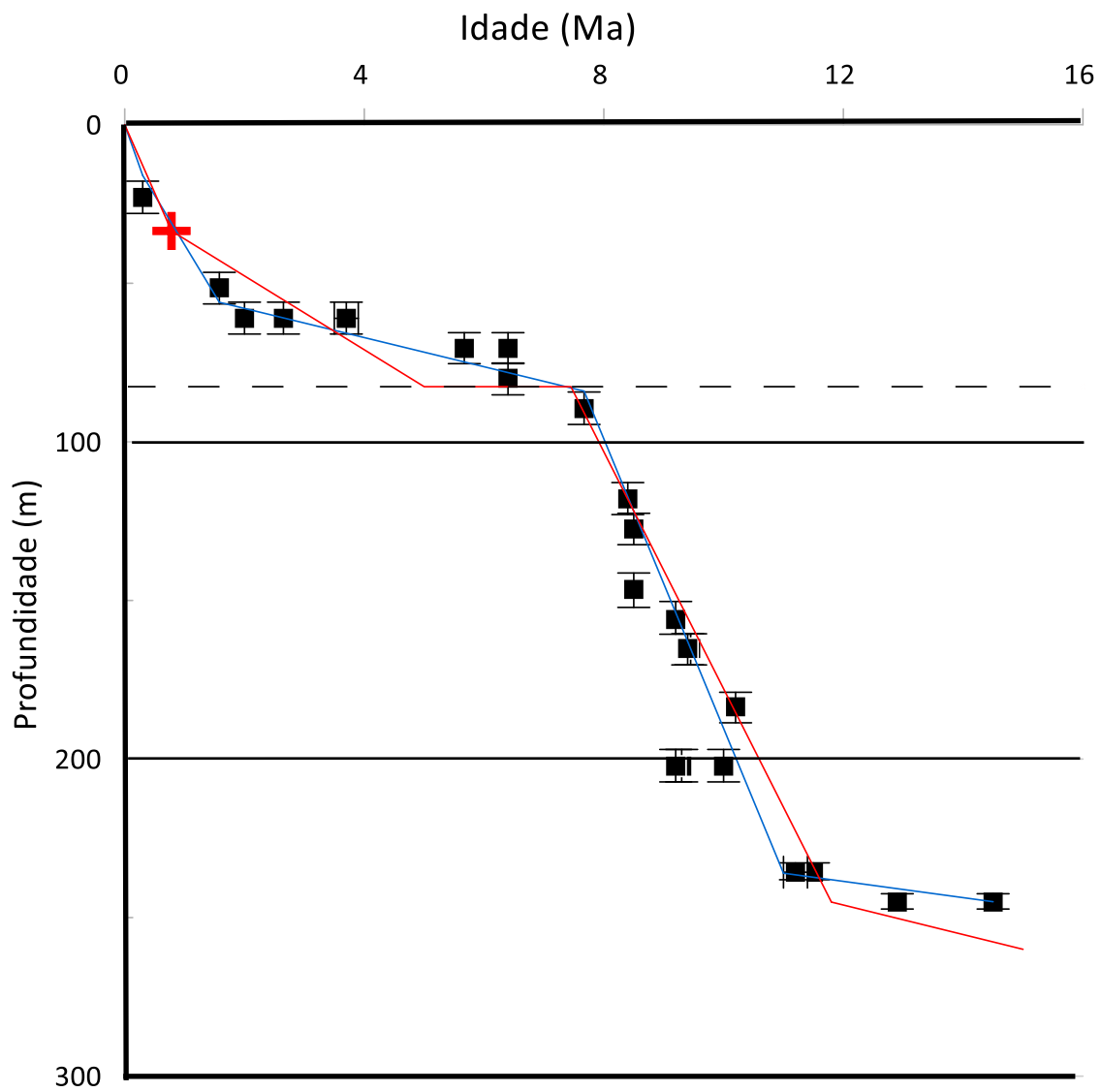


Figura 8.5 – Comparação entre o modelo de idades contruído a bordo (linha vermelha; ver figura 5.4) com o modelo de idades (linha azul) construído a partir dos bioeventos (quadrados pretos) obtidos após análise laboratorial e estatística neste trabalho. O evento paleomagnético de Brunhes/Matuyama (cruz vermelha) está representado e é comum aos dois modelos. Barras de erro verticais representam erro de profundidade, e barras de erro horizontais representam erro de idades. Informação do modelo de idades da expedição adaptado do relatório do site U1430A (Tada *et al.*, 2015b).

Apesar destas diferenças, ambos os modelos exibem taxas de sedimentação semelhantes, e conservam o limite paleomagnético de Brunhes/Matuyama.

Através de cada ponto do modelo de idades (Quadro 8.4) escolhido dentro dos limites de idade/profundidade dos bioeventos foi possível calcular os declives das retas (Quadro 8.5) e consequentemente, as taxas de sedimentação (Quadro 8.6). O modelo de idades termina a uma profundidade de 254,11 m, pois não se observaram diatomáceas e, por conseguinte, bioeventos nas amostras subsequentes. A atribuição de idade aos primeiros 13,3 m foi possível, apesar da falta de diatomáceas nas amostras 1H-CC e 2H-CC, traçando a reta entre a superfície e o primeiro bioevento na amostra 3H-CC.

Quadro 8.4- Idade (Ma) e profundidade (m) dos pontos atribuídos ao modelo de idades construído neste trabalho.

Idade (Ma)	Profundidade CSF (m)
0	0
0,3	16
1,58	56
7,67	84
11	236
14,5	245

Quadro 8.5- Equações lineares de cada parte do modelo de idades; (y) representa a profundidade e (x) a idade correspondente.

Intervalo de idade (Ma)	Equações lineares
0-0,3	$y = 53,33x$
0,3-1,58	$y = 31,25x + 6,63$
1,58-7,67	$y = 4,60x + 48,74$
7,67-11	$y = 45,65x - 266,10$
11-14,5	$y = 2,57x + 207,71$

Quadro 8.6- Taxas de sedimentação do modelo de idades proposto

Intervalo de idade (Ma)	Taxa de sedimentação (m/Ma)
0-0,3	53,33
0,3-2	31,25
1,58-7,67	4,60
7,67-11	45,65
11-14,5	2,57

Devido à sua presença significativa ao longo de todas as amostras foi também construído, baseado na contagem de esporos de *Chaetoceros*, um gráfico da sua percentagem relativa ao longo dos últimos 16 Ma. Como foi referido no capítulo 4, os esporos de *chaetoceros* estão diretamente relacionados com a produtividade da superfície dos oceanos (Hargraves, 1986). Foi atribuída a cada amostra uma idade correspondente, utilizando o modelo de idades construído neste trabalho e o modelo de idades obtido a bordo, o que permitiu efetuar uma análise comparativa dos dois modelos, como se pode observar no gráfico da figura 8.6

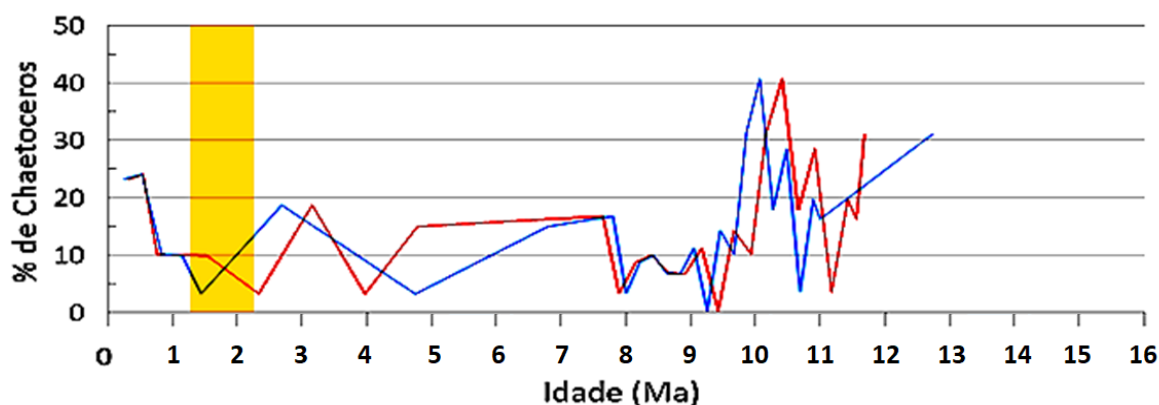


Figura 8.6 – Comparação entre percentagens relativas de esporos de *Chaetoceros* das amostras analisadas, com a idade das amostras atribuída utilizando o modelo de idades construído a bordo (linha vermelha) e o modelo de idades construído a partir dos bioeventos (linha azul). A amarelo está evidenciado o evento de diminuição de produtividade observado no Mar do Japão devido à diminuição da profundidade do estreito de Tsugaru.

O desfasamento de idade entre os dois gráficos leva a observações distintas do aumento ou diminuição da produtividade para a mesma altura. Devido à diminuição da profundidade do estreito de Tsugaru que ocorreu no Plistocénico inferior há cerca de 2.3 Ma (Itaki, 2016), o fluxo de nutrientes para o Mar do Japão diminuiu até cerca de 1.3 Ma, resultando numa diminuição considerável na produtividade. Observando os dois gráficos da figura 8.6, apenas o gráfico construído com o modelo de idades realizado neste trabalho traduz uma diminuição visível na percentagem relativa de *Chaetoceros*.

9-Conclusões

Após tratamento laboratorial das amostras CC do navio, foram descritas 13 espécies e 5 variedades de diatomáceas o que permitiu, após uma etapa de identificação e contagem, atribuir 23 bioeventos às amostras. Consequentemente, foi criado um novo modelo de idades.

Constatou-se que o modelo criado suporta uma taxa de sedimentação baixa dos 7,67 Ma aos 1,57 Ma contrariando a hipótese do hiato apresentada no relatório inicial da expedição 346 do site U1430 (Tada *et al.*, 2015b). Esta disparidade é resultado não só da diferença do tratamento laboratorial das amostras mas também da análise estatística aplicada à informação obtida, mostrando que a utilização de dados que sejam representativos estatisticamente, não só em biostratigrafia mas em todos os trabalhos científicos que utilizem modelos de idade, afeta a qualidade e a precisão desses dados e consequentemente o resultado final de um estudo, podendo levar a conclusões científicas distintas.

O modelo de idades obtido, juntamente com a percentagem de *Chaetoceros* em cada amostra, confirma a redução do fluxo de nutrientes resultante da diminuição da profundidade do estreito de Tsugaru dos 2,3 Ma aos 1,3 Ma.

De modo a desenvolver e melhorar o modelo de idades construído neste trabalho e fornecer uma base para estudos subsequentes é necessário incorporar a informação de outros microfósseis aplicando tratamento laboratorial e abordagem estatística semelhante. Neste âmbito, analisar amostras de várias secções de cada core, em vez de analisar apenas amostras de CC, vai possibilitar a obtenção de profundidades mais precisas dos bioeventos obtidos, diminuindo consideravelmente o erro de profundidade associado à atribuição do bioevento em cada amostra.

10-Referências bibliográficas

- Abrantes, F. F. G. e Sancetta, C. (1985). Diatom assemblages in surface sediments reflect coastal upwelling off southern Portugal. *Oceanologica Acta*, 8(1), 7–12.
- Abrantes, F., Gil, I., Lopes, C., & Castro, M. (2005). Quantitative diatom analyses—a faster cleaning procedure. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 52(1), 189–198.
- Akiba, F. (1975). Correlation of Neogene sections by diatom zones between Sorachi-Hidaka area and Tenpoku area, Hokkaido. *Bulletin of Technological Laboratory, Japan Petroleum Exploration Company*, 18, 197–236.
- Akiba, F. (1982). Taxonomy and biostratigraphic significance of a new diatom. *Bacillaria* 5, 43–61.
- Akiba, F., Inoue, Y., Saito-Kato, M., & Pohlman, J. (2009). Data report: Diatom and foraminiferal assemblages in Pleistocene turbidite sediments from the Cascadia margin (IODP Expedition 311), northeast Pacific. In *Proc. IODP, Volume*, 311, 2.
- Akiba, F., e Yanagisawa, Y. (1986). Taxonomy, morphology and phylogeny of the Neogene diatom zonal marker species in the middle-to-high latitudes of the North Pacific. *Init. Rep. DSDP*, 87, 483–554.
- Allen, A. E., Laroche, J., Maheswari, U., Lommer, M., Schauer, N., Lopez, P. J. e Bowler, C. (2008). Whole-cell response of the pennate diatom *Phaeodactylum tricornutum* to iron starvation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(30), 10438–10443.
- Armbrust, E. V. (2009). The life of diatoms in the world's oceans. *Nature*, 459(7244), 185–192.
- Armstrong, H. e Brasier, M. (2005). Microfossils, edition 2, *Blackwell Publishing*. 200–209.
- Barron, J. A. e Gladenkov, A. Y. (1995). Early Miocene to Pleistocene diatom stratigraphy of Leg 145. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 145, 3–19.
- Batterbee, R. (1973). A new method for estimating absolute microfossil numbers with special reference to diatoms. *Limnol. Oceanogr*, 18, 647–653.
- Bolli, H. M., Saunders, J. B. e Perch-Nielsen, K. (1985). *Plankton Stratigraphy* (1st ed.). Cambridge: Press Syndicate of the University of Cambridge.
- Burckle, L. H. (1972). Late Cenozoic planktonic diatom zones from the eastern equatorial

- Pacific. *Beihefte Zur Nova Hedwigia*, 39, 217–248.
- Camoin, F. G., Iryu, Yasufumi, McInroy e B, D. (2007). IODP Expedition 310 reconstructs sea level, climatic, and environmental changes in the South Pacific during the last deglaciation. *Scientific Drilling*, 5, 4–12.
- Cande, S. C. e Kent, D. V. (1995). Revised calibration of the geomagnetic polarity timescale for the Late Cretaceous and Cenozoic. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 100(B4), 6093–6095.
- Cha, H., Lee, C., Kim, B., Choi, M. e Ruttenberg, K. (2005). Early diagenetic redistribution and burial of phosphorus in the sediments of the southwestern East Sea (Japan Sea). *Marine Geology*, 216(3), 127–143.
- Chough, S. K., Lee, G. H., Park, B. K. e Kim, S. W. (1984). Fine structures of turbidite and associated muds in the Ulleung (Tsushima) Basin, East Sea (Sea of Japan). *Journal of Sedimentary Petrology*, 54(4), 1212–1220.
- Cleve, P. T. e Möller, J. D. (1875). Collection of 324 diatom slides with accompanying analyses of A. Grunow, 1-6 1877-1882.
- Donahue, J. G. (1970). Pleistocene diatoms as climatic indicators in North Pacific sediments. *Geological Society of America Memoirs*, 126, 121–138.
- Dun, W. S., Rands, W. H. e David, B. A. (1901). Note on the occurrence of diatoms, radiolaria and infusoria in the Rolling Downs Formation (Lower Cretaceous), Queensland. *Proc. Linn. Soc., New South Wales*, 18(1), 299–309.
- Edwards, L. E. (1984). Insights on why graphic correlation (Shaw's method) works. *The Journal of Geology*, 92(5), 583–597.
- Elias, S. A. e Bradley, R. S. (1999). Paleoclimatology: Reconstructing Climates of the Quaternary. Arctic, Antarctic, and Alpine Research (Vol. 31), 329-332.
- Fatela, F. e Taborda, R. (2002). Confidence limits of species proportions in microfossil assemblages. *Marine Micropaleontology*, 45(2), 169–174.
- Fryxell, G. A. e Hasle, G. R. (1980). The Marine Diatom *Thalassiosira Oestrupii*: Structure, Taxonomy and Distribution. *American Journal of Botany*, 67(5), 804–814.
- Gersonde, R. e Harwood, D. M. (1990). Lower Cretaceous diatoms from ODP Leg 113 Site 693 (Weddell Sea). Part 1: vegetative cells. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 113, 365–402.
- Greville, R. K. (1866). Descriptions of New and Rare Diatoms. Series XX. *Transactions of The*

- Microscopical Society & Journal*, 14(1), 77–86.
- Hajós, M. (1968). Die Diatomeen der Miozanen Ablagerungen des Matravorlandes. *Geologica Hungarica. Series Palaeontologica*, 37, 1–401.
- Haq, B. U., e Boersma, A. (Eds.). (1998). Introduction to marine micropaleontology, 1-19. Elsevier.
- Hargraves, P. (1986). The relationship of some fossil diatom genera to resting spores. In *Proceedings of the Eighth International Diatom Symposium, 1986* (Vol. 1). Koeltz Scientific Books.
- Hasle, G. R., Syvertsen, E. E., Steidinger, K. A., Tangen, K. e Tomas, C. R. (1996). *Identifying marine diatoms and dinoflagellates*. 9-23, Elsevier.
- Hendey, N. I. (1937). The plankton diatoms of the southern seas. *Discovery Report*, 16, 151–364.
- Hustedt, F. (1959). Die Diatomeenflora der Unterweser von der Lesummündung bis Bremerhaven mit Berücksichtigung des Unterlaufs der Hunte und Geeste. *Veröffentlichungen Des Instituts Für Meeresforschung in Bremerhaven*, 3–175.
- Hutchins, D. A. e Bruland, K. W. (1998). Iron-limited diatom growth and Si:N uptake ratios in a coastal upwelling regime. *Nature*, 393(6685), 561–564.
- Ichiye, T. e Takano, K. (1988). Mesoscale eddies in the Japan Sea. *La Mer*, 26(2), 69–75.
- Itaki, T. (2016). Transitional changes in microfossil assemblages in the Japan Sea from the Late Pliocene to Early Pleistocene related to global climatic and local tectonic events. *Progress in Earth and Planetary Science*, 3(1), 11.
- Jolivet, L., Tamaki, K. e Fournier, M. (1994). Japan Sea, opening history and mechanism: A synthesis. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 99(B11), 22237–22259.
- Jordan, R. W. e Priddle, J. (1991). Fossil members of the diatom genus *Proboscia*. *Diatom Research*, 6(1), 55–61.
- Jousé, A. (1962). Stratigraphic and paleogeographic investigations in the northwest part of the Pacific ocean. *Moscow: AkadNauk SSSR, Oceanologic Institute*, 1–258.
- Jousé, A. (1968). New species of diatoms in bottom sediments of the Pacific and the Sea of Okhotsk. *Nov. Systemat. Plant. Non. Vascular., Acad. Nauk SSSR*, 3, 12–21.
- Kanaya, T. (1959). Miocene diatom assemblages from the Onnagawa Formation and their distribution in the correlative formations in northeast Japan., 30, 1-41.

- Keller, G. (1983). Paleoclimatic analyses of middle Eocene through Oligocene planktic foraminiferal faunas. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 43(1–2), 73–94.
- Koizumi, I. (1968). Tertiary Diatom Flora of Oga Peninsula, Akita Prefecture, Northeast Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ., 2nd Ser.*, 40(3), 171–240.
- Koizumi, I. (1973). The late Cenozoic diatoms of Sites 183-193, Leg 19 Deep Sea Drilling Project. *Init. Rep. DSDP*, 19, 805–855.
- Koizumi, I. (1992). Diatom biostratigraphy of the Japan Sea: Leg 127. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 127/128(1), 249–289.
- Koizumi, I. e Tanimura, Y. (1985). Neogene latitude biostratigraphy of the middle latitude western North Pacific, Deep Sea Drilling Project Leg 86. *Init. Rep. DSDP*, 86, 269–300.
- Koutsoukos, E. A. (2006). *Applied Stratigraphy. Eos, Transactions American Geophysical Union* (23rd ed., Vol. 86). Springer Science & Business Media.
- Kozlova, O. e Mukhina, V. (1967). Diatoms and silicoflagellates in suspension and floor sediments of the Pacific Ocean. *International Geology Review*, 9(10), 1322–1342.
- Krieger, W. (1954). *Diatomeenschalen im Elektronenmikroskopischen Bild. J. Cramer. Weinheim*. 24, 103-200.
- Langereis, C. G., Krijgsman, W., Muttoni, G. e Menning, M. (2010). Magnetostratigraphy--concepts, definitions, and applications. *Newsletters on Stratigraphy*, 43(3), 207–233.
- Lee, H., Chough, S. e Yoon, S. (1996). Slope-stability change from late pleistocene to holocene in the Ulleung Basin, East Sea (Japan Sea). *Sedimentary Geology*, 104(1–4), 39–51.
- Lohmann, K. K. (1948). Middle Miocene diatoms from the Hammond well.—Cretaceous and Tertiary subsurface geology. *Maryland Dept. Mines Geol. Bull*, 2, 151–186.
- Lopes, C., Mix, A. C., e Abrantes, F. (2010). Environmental controls of diatom species in northeast Pacific sediments. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 297(1), 188-200.
- Lopes, C., Kucera, M., & Mix, A. C. (2015). Climate change decouples oceanic primary and export productivity and organic carbon burial. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(2), 332-335.
- Lopes, C., & Mix, A. C. (2018). North Pacific Paleotemperature and Paleoproductivity Reconstructions Based on Diatom Species. *Paleoceanography and Paleoclimatology*, 33(7), 703-715.

- Mann, D. G. (1999). The species concept in diatoms. *Phycologia*, 38(6), 437-495.
- Margalef, R. (1978). Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. *Oceanologica Acta*, 1(4), 493–509.
- Mayer, L., Pisias, N., Janecek, T., Mix, A., Lyle, M., Arason, P. e Mosher, D. (1992). Explanatory notes. In *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 15–42.
- Meissner, K. J., Montenegro, A. e Avis, C. (2009). Paleooceanography. *Encyclopedia of Paleoclimatology and Ancient Environments*, 609–696.
- Mock, T. e Medlin, L. K. (2012). *Genomics and Genetics of Diatoms. Advances in Botanical Research*, 64, 246-278.
- Naganuma. (1977). The oceanographic fluctuations in the Japan Sea. *Mar. Sci.(Kaiyo Kagaku)*, 137–141.
- Nobes, D., Langseth, M., Kuramoto, S., Holler, P., Hirata, N., Tamaki, K. e McWilliams, M. (1992). Comparison and correlation of physical-property results from Japan Sea basin and rise sites, Legs 127 and 128. In *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 127, 1275–1296.
- Okazaki, Y., Takahashi, K., Katsuki, K., Ono, A., Hori, J., Sakamoto, T. e Aoki, K. (2005). Late Quaternary paleoceanographic changes in the southwestern Okhotsk Sea: Evidence from geochemical, radiolarian, and diatom records. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 52(16–18), 2332–2350.
- Onodera, J., Takahashi, K. e Nagatomo, R. (2013). Diatoms, silicoflagellates, and ebridians at Site U1341 on the western slope of Bowers Ridge, IODP Expedition 323. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 1–10.
- Reinhold, T. (1937). Fossil diatoms of the Neogene of Java and their zonal distribution. *Verhandel. Geol.-Mijnbouw. Geol. Ser.*, 12, 43–133.
- Sadler, P. M. (2004). Quantitative biostratigraphy—achieving finer resolution in global correlation. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 187-213.
- Sancetta, C. (1979). Oceanography of the North Pacific during the last 18,000 years: evidence from fossil diatoms. *Marine Micropaleontology*, 4, 103–123.
- Scheschukova-Poretzkaja, V. (1962). Novie i redkie Bacillariophyta iz diatomovoi sviti Sakhalina. *Uchenie Zapiski Leningradskogo Gosudarstvennogo Universiteta Imeni AA Zhdanova, Seriya Biologicheskikh Nauk*, 49, 203–211.

- Schmidt, A. e Frick, F. (1959). *Atlas der diatomaceenkunde*. leipzig, I. R. Reisland, 1, 1-480.
- Schrader, H.-J. (1973). Cenozoic diatoms from the Northeast Pacific, Leg 18. In *In: Kulm, L.D., von Huene, R., et al., Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, vol. 18. Washington (U.S. Government Printing Office)*.
- Shimada, C., Sato, T., Kudo, M. e Yamasaki, M. (2008). Significance of *Neodenticula kamtschatica*, an extinct planktonic diatom species from the middle Quaternary submarine deposit, IODP Exp. 303, North Atlantic Ocean. *JOURNAL-GEOLOGICAL SOCIETY OF JAPAN*, 114(1), 47.
- Sliter, W. V. (1988). *Plankton stratigraphy. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* (Vol. 65). Press Syndicate of the University of Cambridge.
[https://doi.org/10.1016/0031-0182\(88\)90030-2](https://doi.org/10.1016/0031-0182(88)90030-2)
- Syvrtsen, E. E. (1985). Resting spore formation in the Antarctic diatoms *Coscinodiscus furcatus* Karsten and *Thalassiosira australis* Peragallo. *Polar Biology*, 4(2), 113–119.
- Tada, R., Murray, R. W., Alvarez Zarikian, C. A., Anderson, W. T. J., Bassetti, M.-A., Brace, B. J. e Ziegler, M. (2015c). Site U1430, 346.
<https://doi.org/10.2204/iodp.proc.346.110.2015>
- Tada, R, Murray, R., Zarikian, C., Alvarez, Anderson Jr, W., Bassetti, M. W., Bassetti, M. Brace, B.J., Clemens, S.C., da Costa Gurgel, M.H., Dickens, G.R. Dunlea, A.G. Gallagher, S.J. Giosan, L. Henderson, A.C.G. Holbourn, A.E. Ikehara, K. Irino, T. Itaki, T. Karasuda, A. Kinsley, C.W. Kubota, Y. Lee, G.S. Lee, K.E. Lofi, J. Lopes, C.I.C.D. Peterson, L.C. Saavedra-Pellitero, M. Sagawa, T. Singh, R.K. Sugisaki, S. Toucanne, S. Wan, S. Xuan, C. Zheng H. e Ziegler, M. (2015a). Integrated Ocean Drilling Program, College Station, TX. (*Integrated Ocean Drilling Program*), 346.
<https://doi.org/10.2204/iodp.proc.346.110.2015>.
- Tada, R, Murray, R., Zarikian, C., Alvarez, Anderson Jr, W., Bassetti, M.-A., Brace, B.J., Clemens, S.C., da Costa Gurgel, M.H., Dickens, G.R., Dunlea, A.G., Gallagher, S.J., Giosan, L., Henderson, A.C.G., Holbourn, A.E., Ikehara, K., Irino, T., Itaki, T., Karasuda, A., Kinsley, C.W., Kubota, Y., Lee, G.S., Lee, K.E., Lofi, J., Lopes, C.I.C.D., Peterson, L.C., Saavedra-Pellitero, M., Sagawa, T., Singh, R.K., Sugisaki, S., Toucanne, S., Wan, S., Xuan, C., Zheng H. e Ziegler, M. (2015b). *Onset and evolution of millennial-scale variability of Asian monsoon and its possible relation with Himalaya and Tibetan Plateau uplift. Site U1427* (Vol. 346).
- Tada, Ryuji. (1994). Paleooceanographic evolution of the Japan Sea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 108(3–4), 487–508.

- Takahashi, K., Jordan, R. e Priddle, J. (1994). The diatom genus *Proboscia* in Subarctic Waters. *Diatom Research*, 9(2), 411–428.
- Tanimura, Y. (1989). *Denticulopsis praeahyalina*, sp. Nov.: an early middle miocene pennate diatom from dogo, oki islands, southwest japan. In *Transactions and proceedings of the Paleontological Society of Japan. New series*, 169–177.
- Tempère J. e Peragallo, H. (1910). Diatomées du Monde Entier, Edition 2, 30 fascicules. Fascicule 13-16. *Chez J. Tempère, Arcachon, Gironde*, 209-256.
- Teraishi, A., Suto, I., Onodera, J. e Takahashi, K. (2013). Diatom, silicoflagellate and ebridian biostratigraphy and paleoceanography in IODP 323 Hole U1343E at the Bering slope site. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2, 1–11.
- Treguer, P., Nelson, D. M., Van Bennekom, A. J., DeMaster, D. J., Leynaert, A. e Queguiner, B. (1995). The Silica Balance in the World Ocean: A Reestimate. *Science*, 268(5209), 375–379.
- Tsunakawa, H. e Shaw, J. (1994). The Shaw method of palaeointensity determinations and its application to recent volcanic rocks. *Geophysical Journal International*, 118(3), 781–787.
- Vieira, C. E. L. (2011). Paleontologia, Capítulo: Diatomáceas. (I. de S. Carvalho, Ed.) (3rd ed.). *Interciência*, 3, 107-135
- Watanabe, M. e Yanagisawa, Y. (2005). Refined Early to Middle Miocene diatom biochronology for the middle-to high-latitude North Pacific. *Island Arc*, 14(2), 91–101.
- Willen, E. (1991). Planktonic Diatoms - An Ecological Review. *Archiv Fur Hydrobiologie*, 69–106.
- Winter, D., Arney, J. e Wise Jr, S. W. (2004). Upper Miocene-Pleistocene Diatom Biostratigraphy in the Northwest Pacific, ODP Leg 191. *Proceedings ODP. Scientific Results*. Vol. 191.
- Winter, D. e Iwai, M. (2002). Data report: Neogene diatom biostratigraphy, Antarctic Peninsula Pacific margin, ODP Leg 178 rise sites. In *Proc. ODP, Sci. Results*, 178, 1-25.
- Yanagisawa, Y. e Akiba, F. (1990). Taxonomy and Phylogeny of the three marine diatom genera, *Crucidentacula*, *Denticulopsis* and *Neodenticula*. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, 41(5), 197–301.
- Yanagisawa, Y. e Akiba, F. (1998). Refined Neogene diatom biostratigraphy for the northwest Pacific around Japan, with an introduction of code numbers for selected diatom biohorizons. *The Journal of the Geological Society of Japan*, 104(6), 395–414.

- Yoon, S. H., Sohn, Y. K. e Chough, S. K. (2014). Tectonic, sedimentary, and volcanic evolution of a back-arc basin in the East Sea (Sea of Japan). *Marine Geology*, 352, 70–88.
- Zabelina, M. (1934). Diatoms from Tertiary deposits of the eastern coast of Kamchatka. Trudy Neftianoi Geol. Razved. Inst., Ser. A, 48, 3–19.
- Zhang, C., Ju, S. e Lee, S. (2016). *Oceanography of the East Sea*. Springer International Publishing.
- Zhang, J., Yao, J. T., Sun, Z. M., Fu, G., Galanin, D. A., Nagasato, C. Motomura, T. Duan, D. L. (2015). Phylogeographic data revealed shallow genetic structure in the kelp *Saccharina japonica* (Laminariales, Phaeophyta). *BMC Evolutionary Biology*, 15(1), 237.
- Zielinski, U. e Gersonde, R. (1997). Diatom distribution in Southern Ocean surface sediments (Atlantic sector): Implications for palaeoenvironmental reconstructions. *Paleogeog. Paleoclimat. Paleoecol.*, 129(3–4), 213–250.

11-Anexos

11.1-Material, substâncias químicas e aparelhos utilizados

Quadro 11.1 - Lista de material, substâncias químicas e aparelhos utilizados ordenados por fase laboratorial

Colheita das amostras
Balança analítica - Sartorius Analytic A120S
Hexametáfosfato de sódio (NaPO_3) ₆ 0,033M
Estufa de laboratório - Memmert ULE500
Dissociação do sedimento na amostra
Placa de aquecimento – Plactronics (J.P. Selecta)
Peróxido de hidrogénio (H_2O_2) 39%
Ácido clorídrico (HCl) 20%
Remoção das partículas em suspensão
Bomba de vácuo – Speedivac 2
Formaldeído
Água destilada
Secagem e preparação das lamelas
Pratos de evaporação de Batterbee
Lamelas para microscópio ótico – Marinefeld 20mm
Parafilm - 4 in. × 125 ft Bemis
Desumidificador
Preparação das lâminas
Lâminas para microscópio ótico – Marinefeld N-OT
Caneta para gravação
Adesivo ótico UV Norle
Caixa de luz UV
Observação das lâminas
Microscópio ótico Eclipse Ni-u Nikon H550L
Etanol ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$) 96%
Óleo de imersão para microscópio ótico (Roth)

11.2-Fotografias da visualização microscópica das amostras

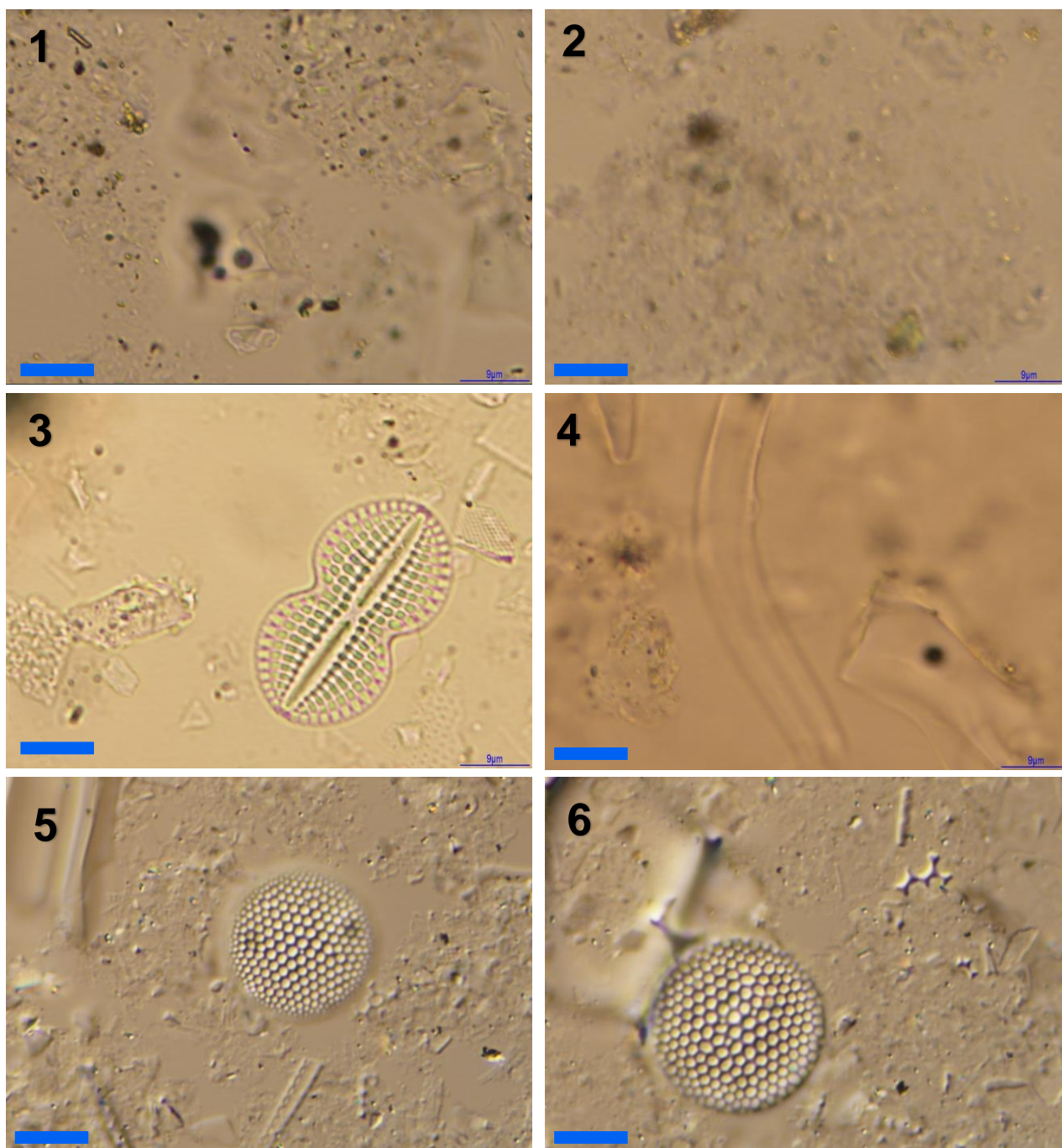


Figura 11.1 – Fotografias das amostras 1H-CC a 6H-CC do core U1430A com ampliação 1000x. Barra azul equivale a 9 μm . (1)-Amostra 1H-CC; (2) Amostra 2H-CC; (3) Amostra 3H-CC; (4) Amostra 4H-CC; (5) Amostra 5H-CC; (6) Amostra 6H-CC.

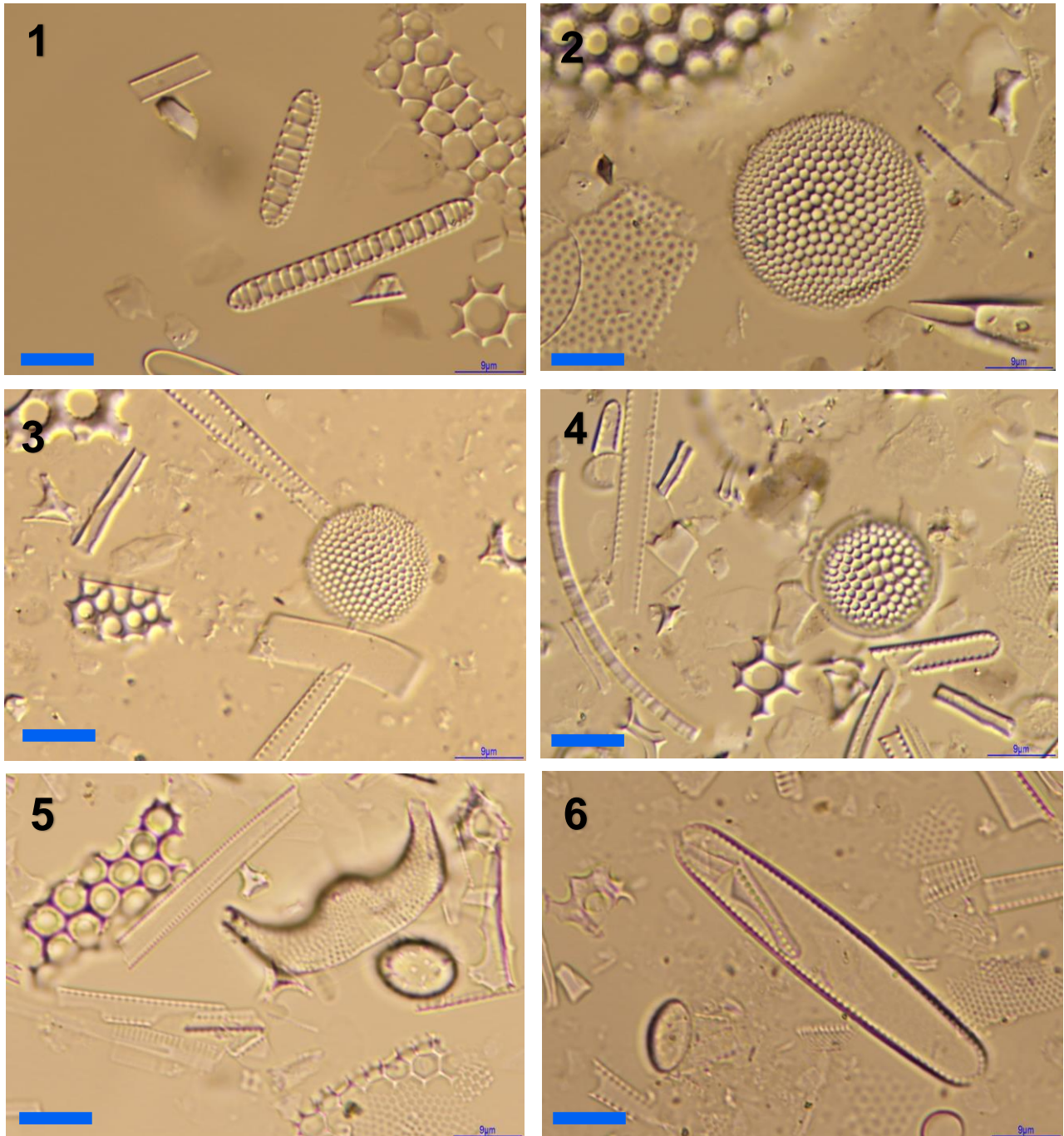


Figura 11.2 – Fotografias das amostras 7H-CC a 12H-CC do core U1430A com ampliação 1000x. Barra azul equivale a 9 μm . (1)-Amostra 7H-CC; (2) Amostra 8H-CC; (3) Amostra 9H-CC; (4) Amostra 10H-CC; (5) Amostra 11H-CC; (6) Amostra 12H-CC.

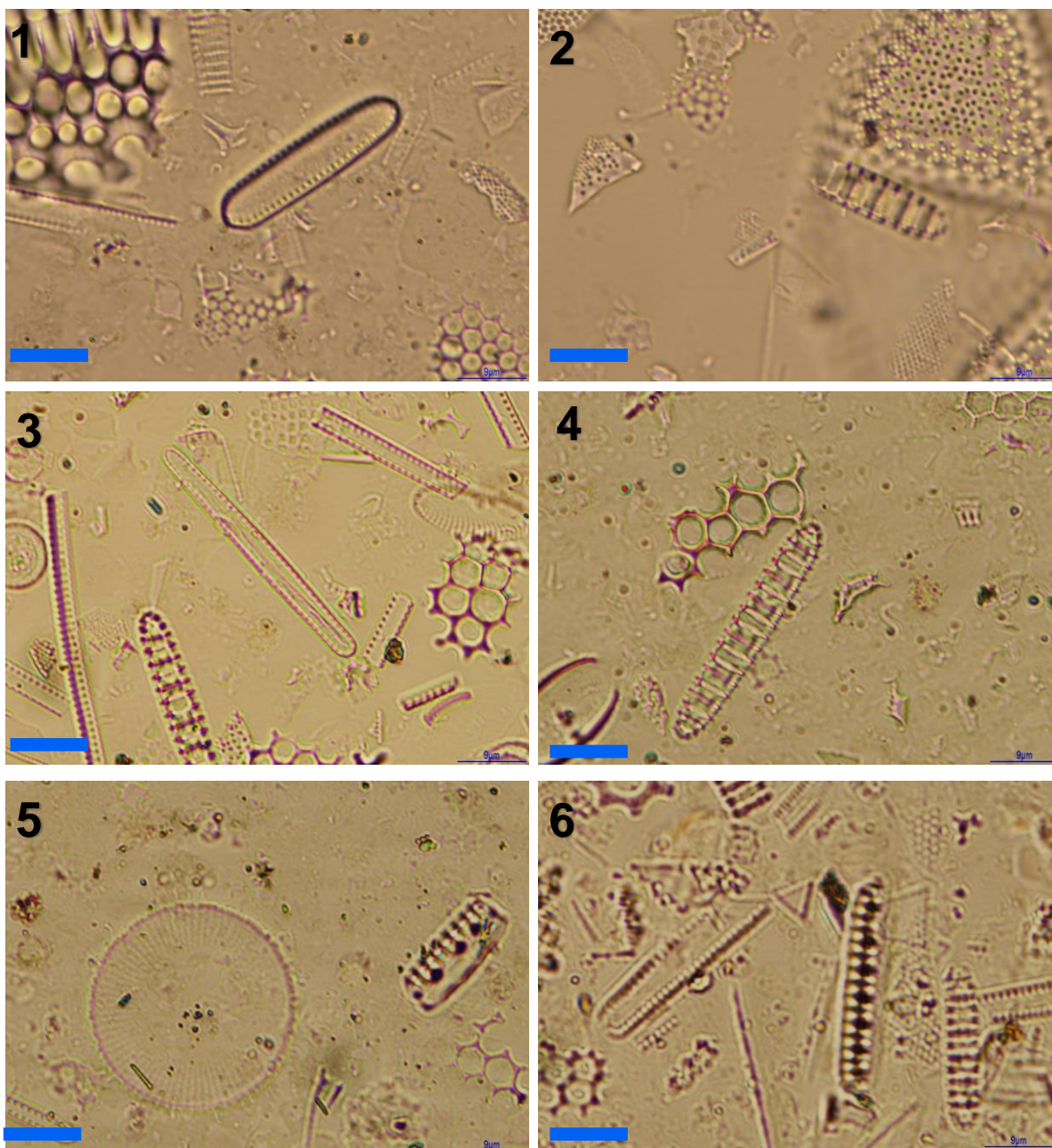


Figura 11.3 – Fotografias das amostras 13H-CC a 18H-CC do core U1430A com ampliação 1000x. Barra azul equivale a 9 μm . (1)-Amostra 13H-CC; (2) Amostra 14H-CC; (3) Amostra 15H-CC; (4) Amostra 16H-CC; (5) Amostra 17H-CC; (6) Amostra 18H-CC.

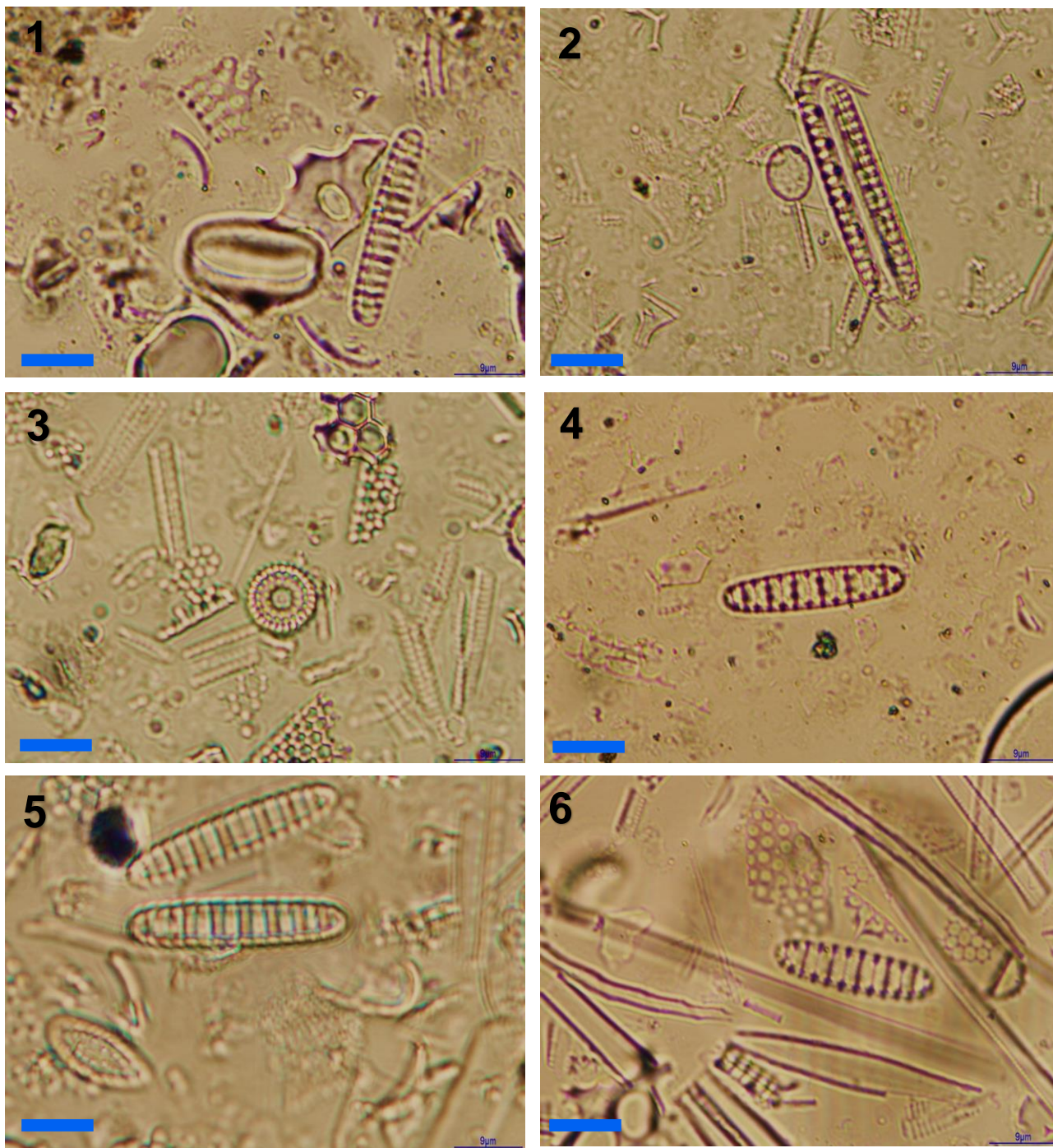


Figura 11.4 – Fotografias das amostras 19H-CC a 24H-CC do core U1430A com ampliação 1000x. Barra azul equivale a 9 μm . (1)-Amostra 19H-CC; (2) Amostra 20H-CC; (3) Amostra 21H-CC; (4) Amostra 22H-CC; (5) Amostra 23H-CC; (6) Amostra 24H-CC.

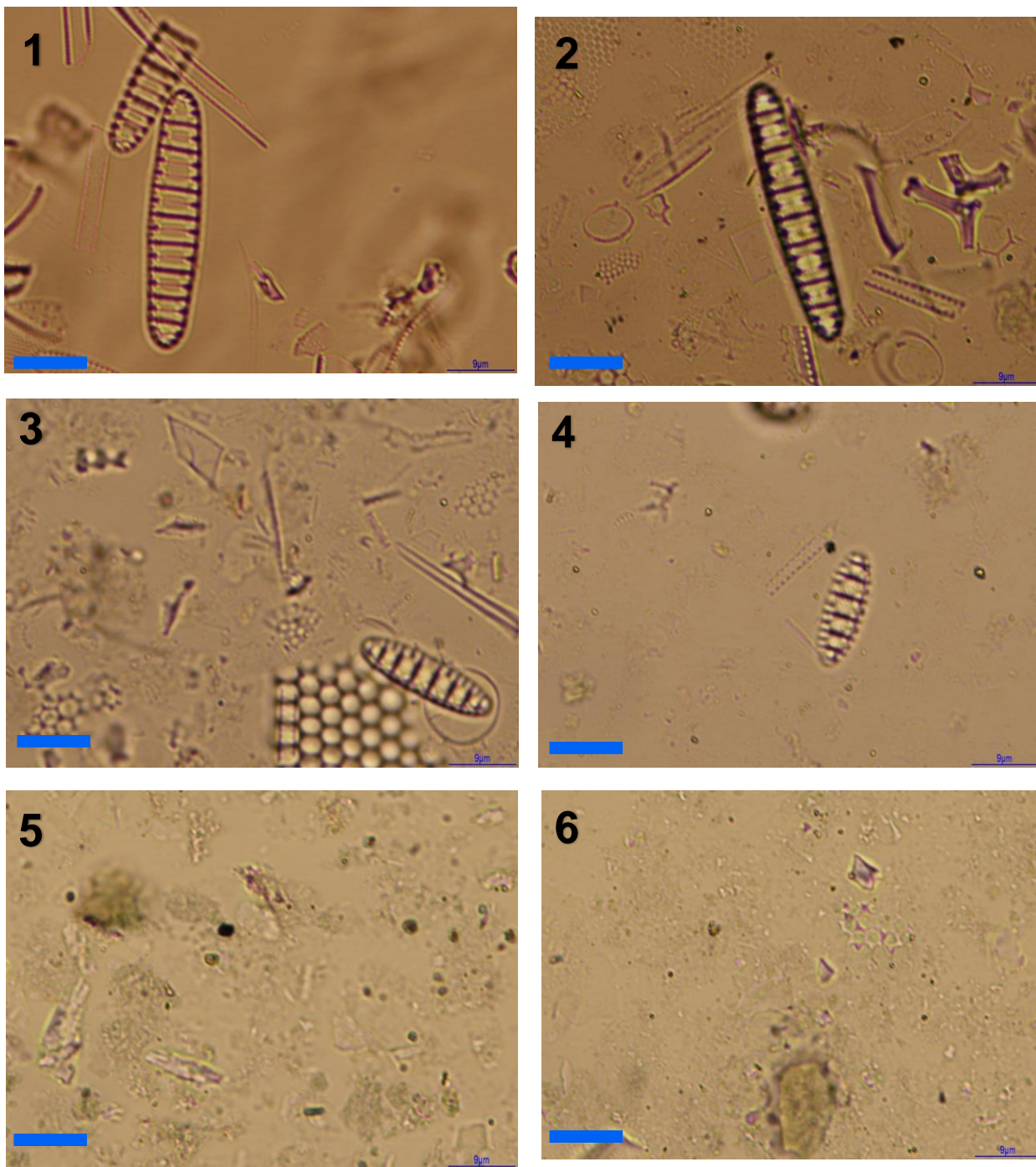


Figura 11.5 – Fotografias das amostras 25H-CC a 30X-CC do core U1430A com ampliação 1000x. Barra azul equivale a 9 μm . (1)-Amostra 25H-CC; (2) Amostra 26H-CC; (3) Amostra 27H-CC; (4) Amostra 28H-CC; (5) Amostra 29H-CC; (6) Amostra 30X-CC.

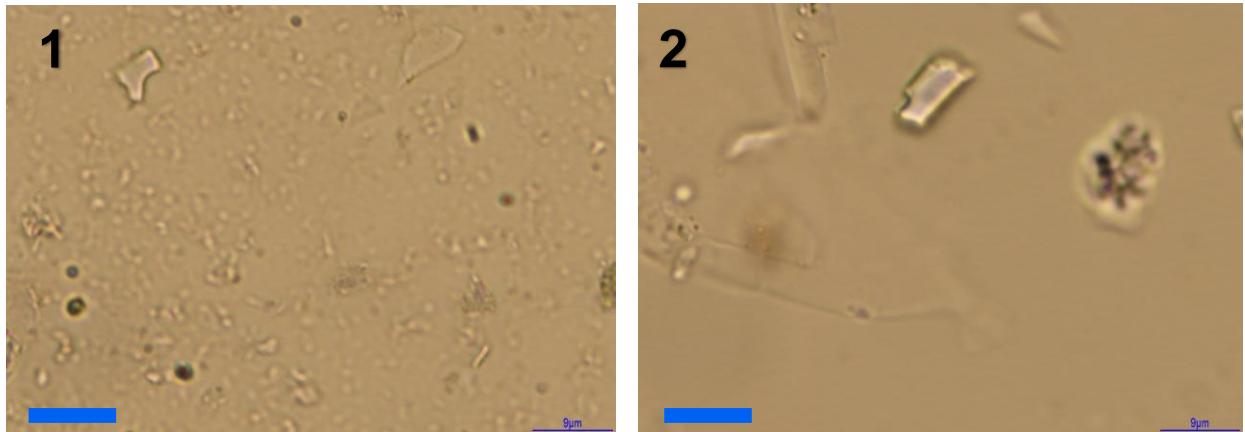


Figura 11.6 – Fotografias das amostras 31X-CC e 32X-CC do core U1430A com ampliação 1000x. Barra azul equivale a 9 μm . (1)-Amostra 31X-CC; (2) Amostra 32X-CC.

11.3-Fotografias das espécies chave de diatomáceas observadas

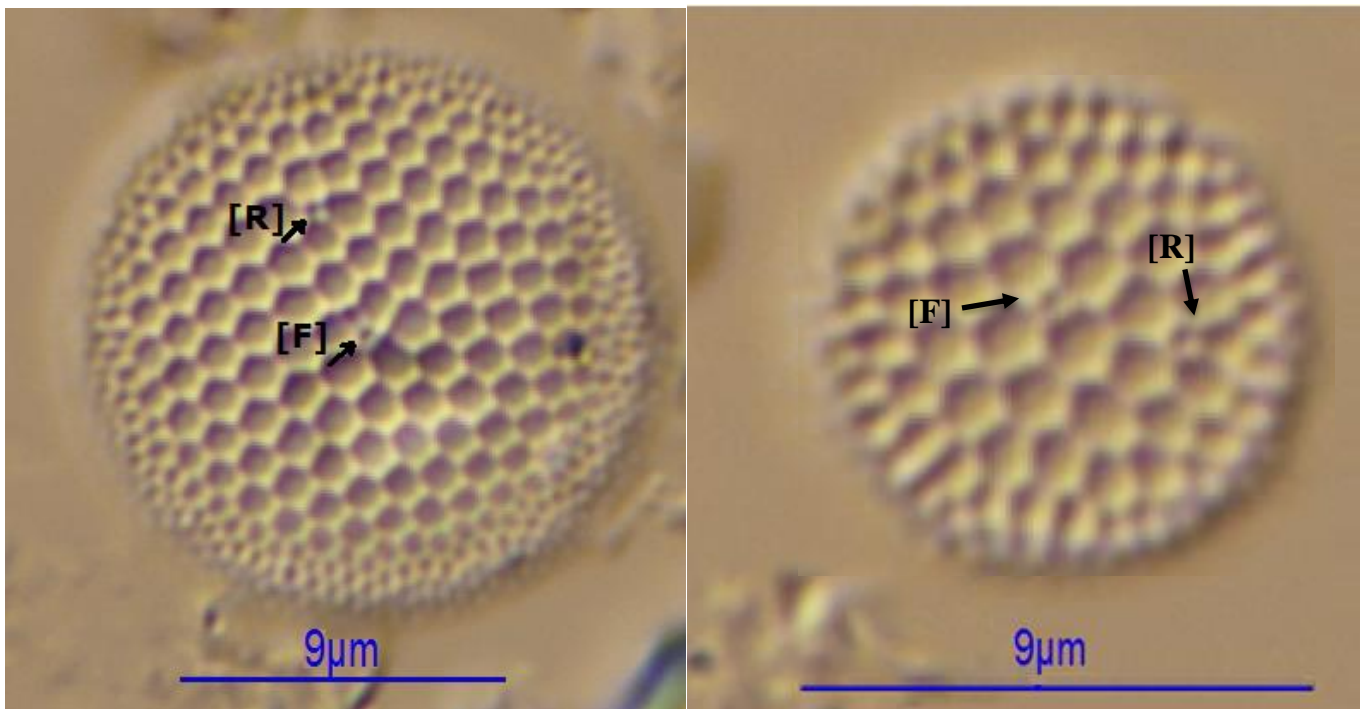


Figura 11.7 – Valvas de *Shionodiscus oestrupii* observadas ao microscópio ótico. [R] – Rimopórtula; [F] – Fultopórtula.

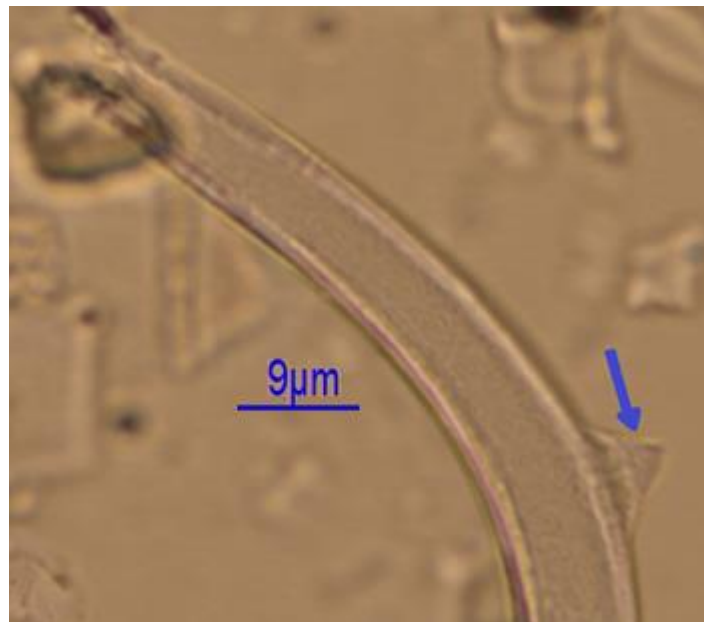


Figura 11.8- Valva de *Proboscia curvirostris* ao microscópio ótico. A seta azul realça a espinha dorsal característica da espécie.

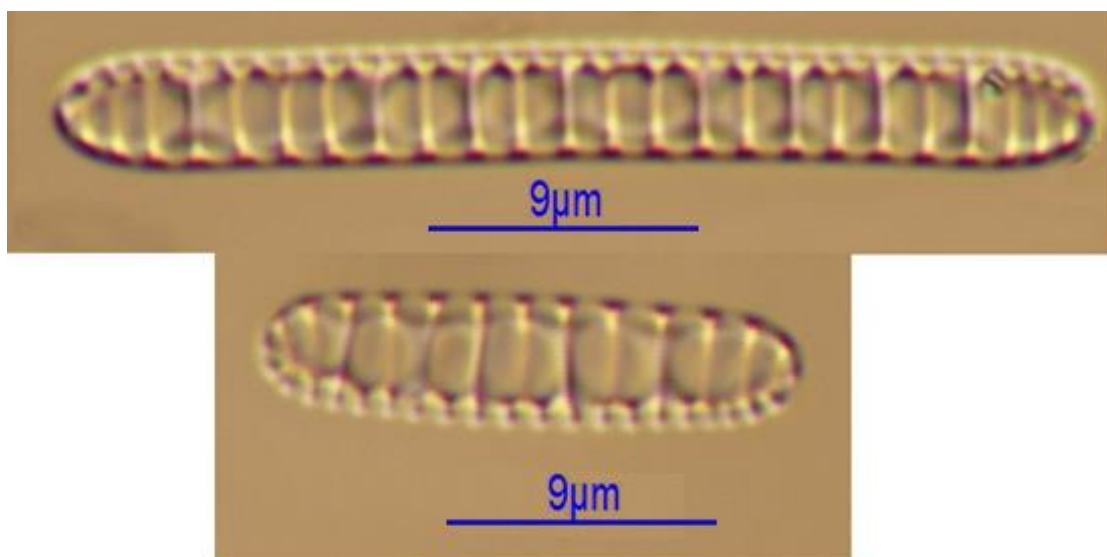


Figura 11.9 – Valvas de *Neodenticula koizumii* em vista valvar.

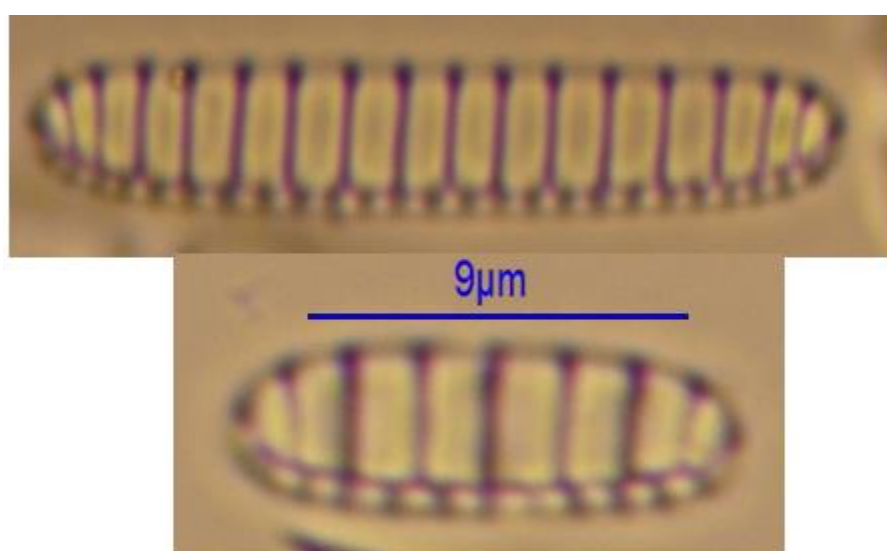


Figura 11.10 – Valvas de *Neodenticula kamtschatica* observadas ao microscópio ótico, em vista valvar.

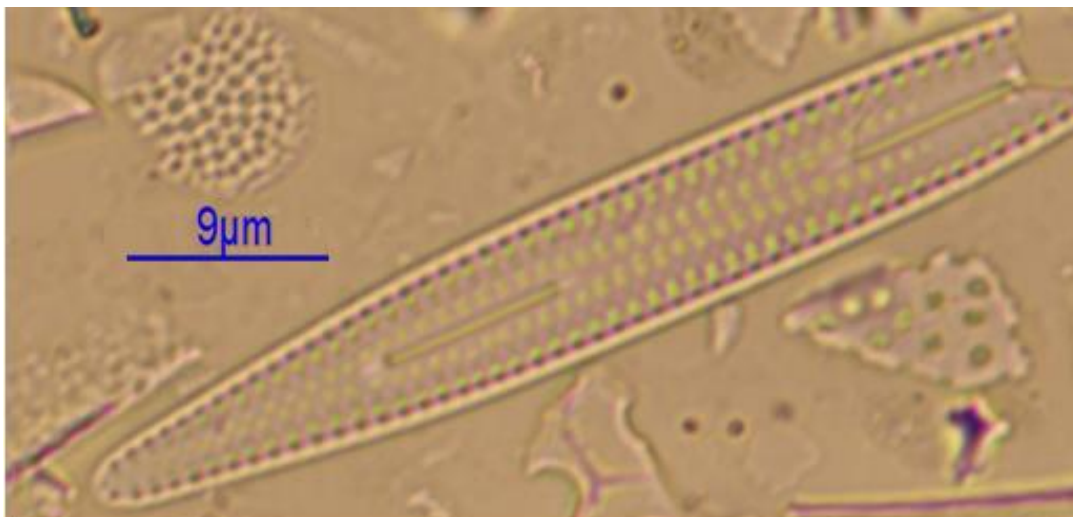


Figura 11.11 – Valva de *Rouxia californica* em vista valvar, observada ao microscópio ótico.

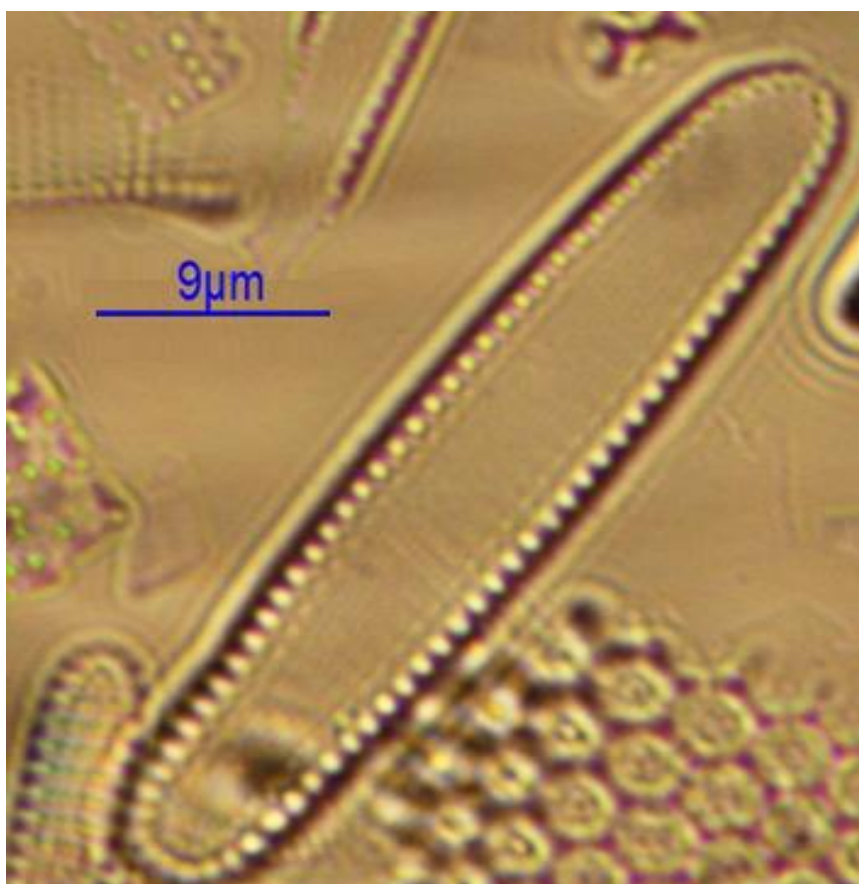


Figura 11.12 – Valva de *Thalassionema schraedrii* em vista valvar, observada ao microscópio ótico.

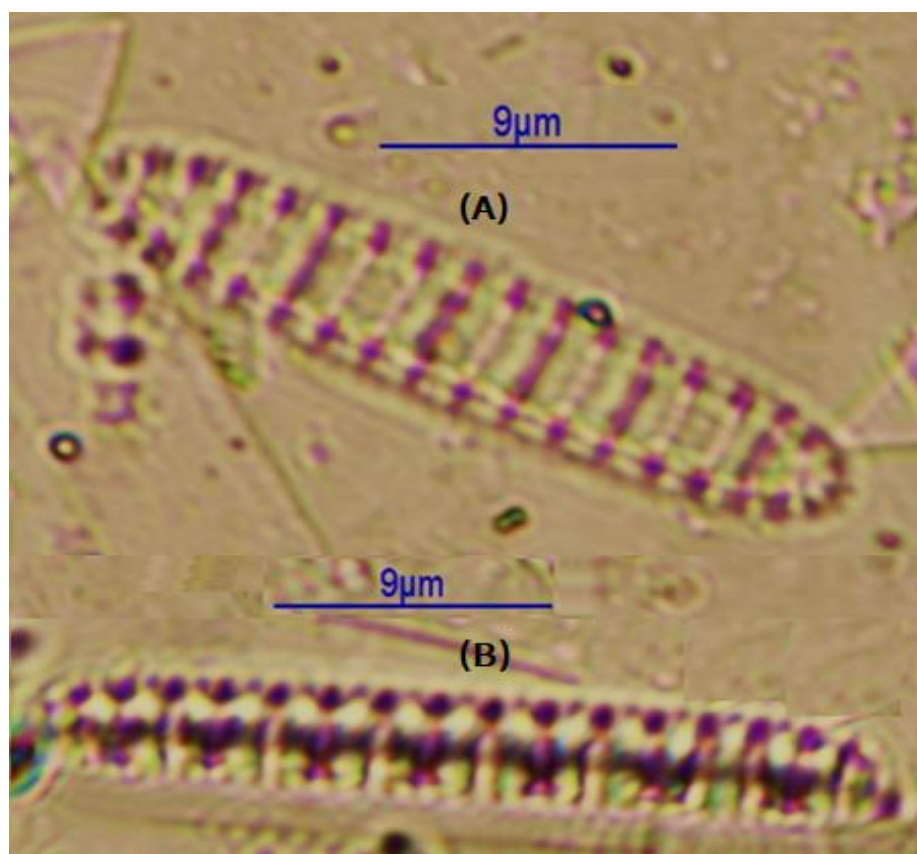


Figura 11.13 – Valvas em vista valvar (A) e vista pleural (B) de *Denticulopsis katayamae* observadas ao microscópio ótico.

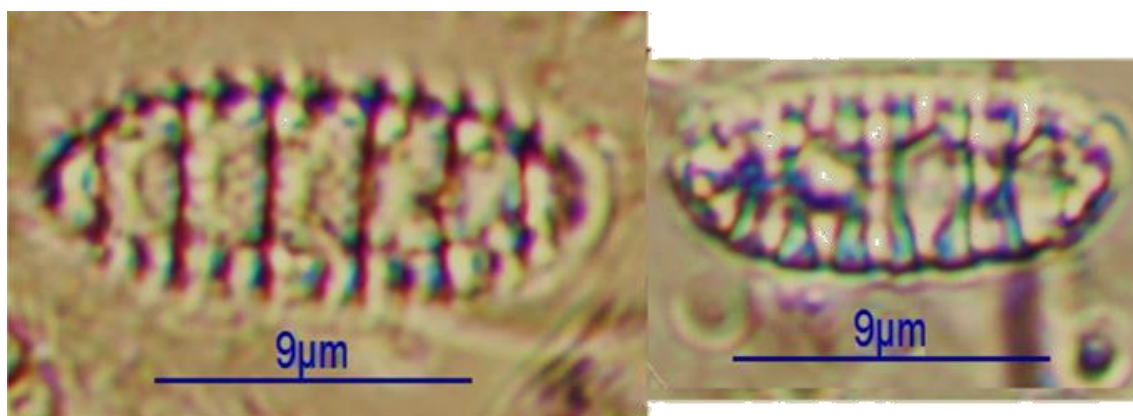


Figura 11.14 – Valvas de *Denticulopsis dimorpha* var. *dimorpha* em vista valvar, observadas ao microscópio ótico.

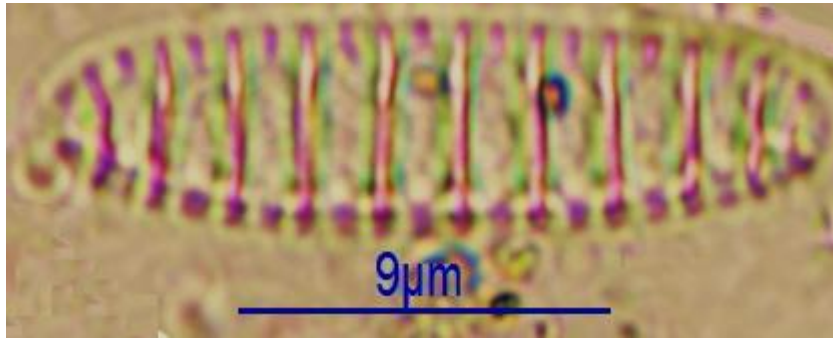


Figura 11.15 – Valva de *Denticulopsis dimorpha* var. *areolata* em vista valvar, observada ao microscópio ótico.

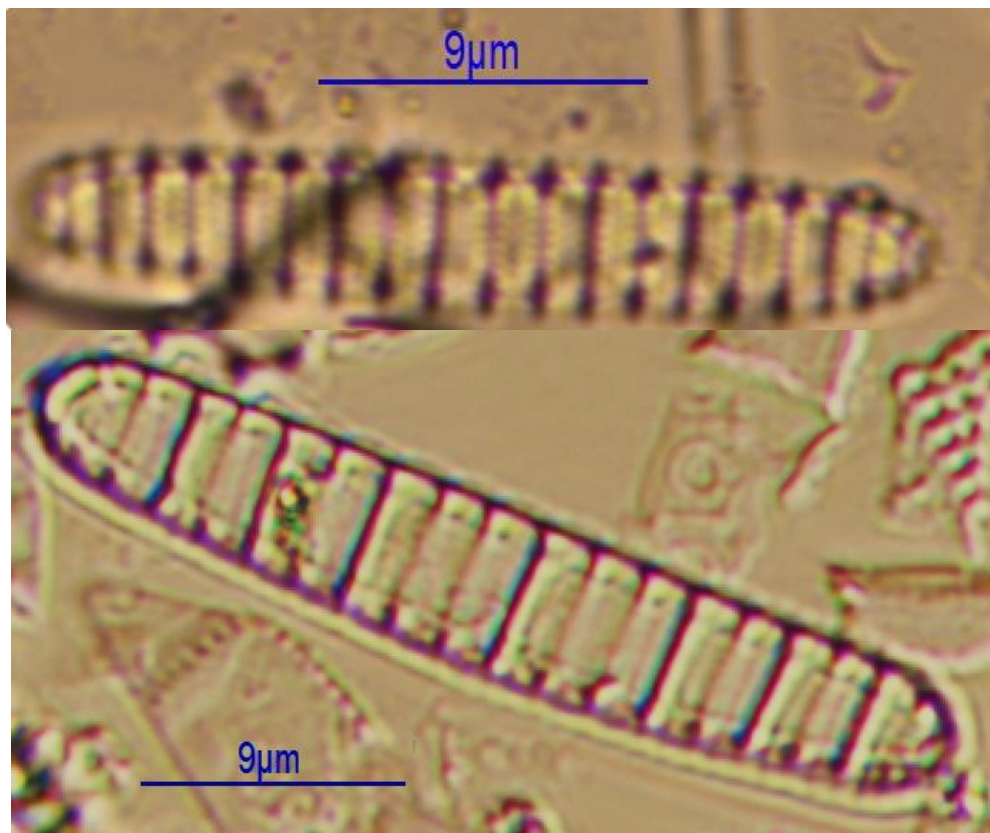


Figura 11.16 – Valvas de *Denticulopsis simonsenii* em vista valvar observadas ao microscópio ótico.

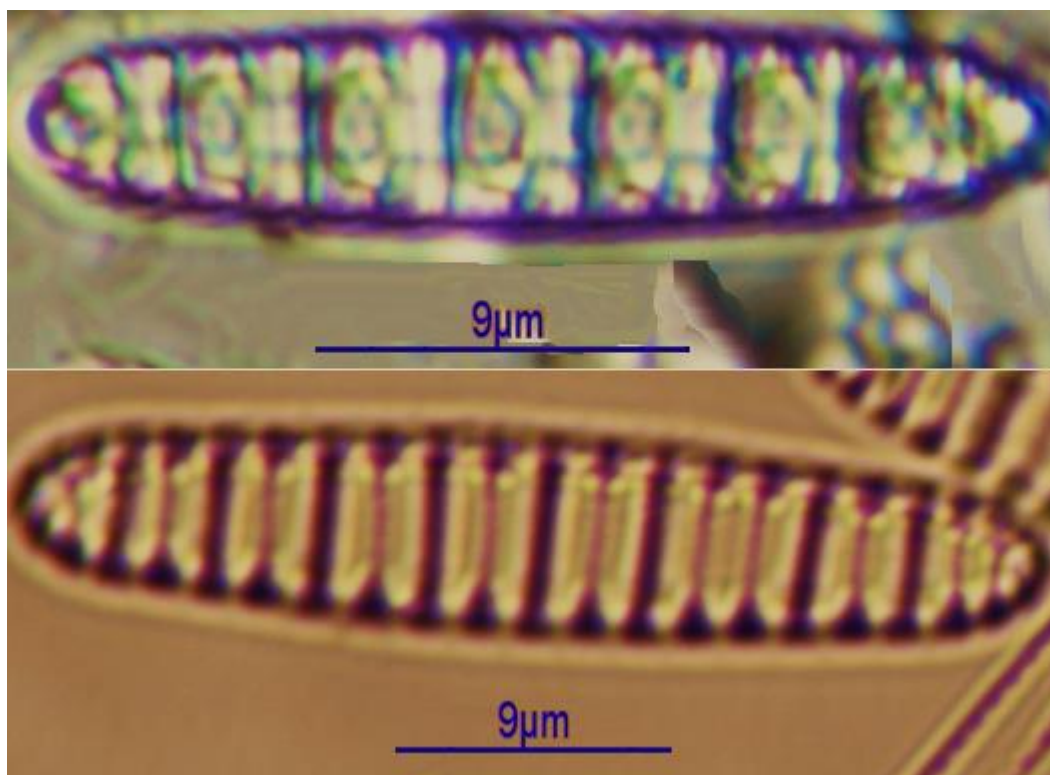


Figura 11.17 – Valvas de *Denticulopsis hustedtii* em vista valvar observadas ao microscópio ótico.

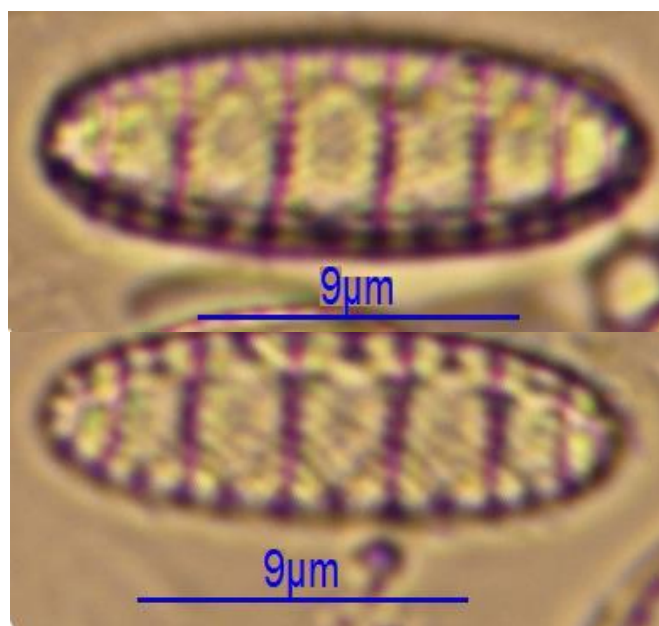


Figura 11.18– Valvas de *Denticulopsis praedimorpha* var. *Minor* em vista valvar observadas ao microscópio ótico.